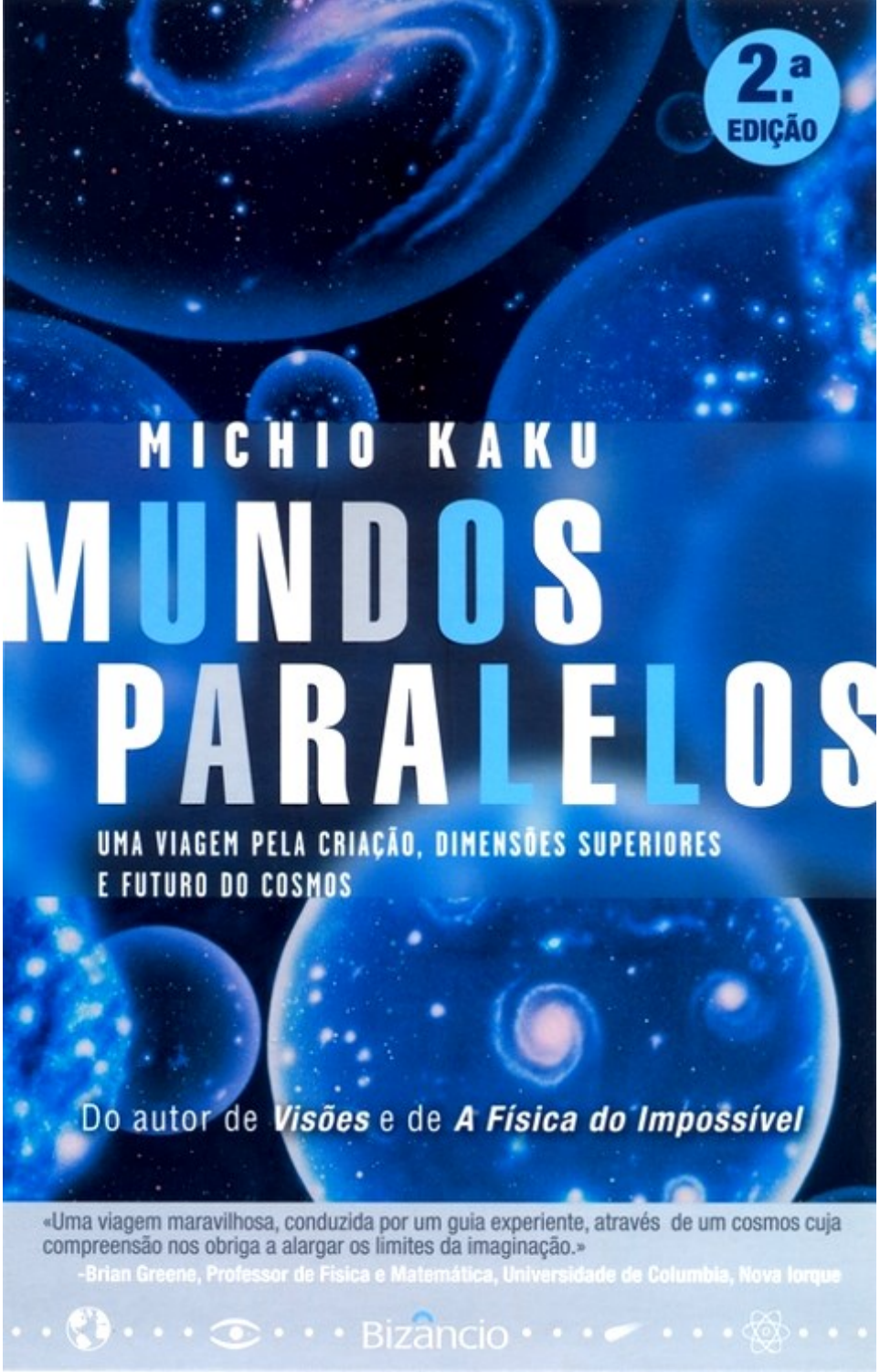

2.ª EDIÇÃO
MICHIO KAKU
MUNDOS PARALELOS
UMA VIAGEM PELA CRIAÇÃO, DIMENSÕES SUPERIORES E FUTURO DO COSMOS
Do autor de Visões e de A Física do Impossível
«Uma viagem maravilhosa, conduzida por um guia experiente, através de um cosmos cuja compreensão nos obriga a alargar os limites da imaginação.»
-Brian Greene, Professor de Física e Matemática, Universidade de Columbia, Nova Iorque
Bizâncio

MUNDOS PARALELOS

UMA VIAGEM PELA CRIAÇÃO, DIMENSÕES SUPERIORES E FUTU RO DO COSMOS

Michio Kaku é professor catedrático de Física Teórica na Universidade da Cidade de Nova Iorque. É autor de vários livros notáveis como Beyond Einstein, Hyperspace, considerado um dos melhores livros de ciência do ano pelo The New York Times e pelo Washington Post e ainda Visões - Como a Ciência Irá Revolucionar o Século XXI e A Física do Impossível, ambos publicados pela Bizâncio. É um convidado frequente dos maiores canais de televisão dos EUA, e tem um programa de rádio que é ouvido em mais de cem cidades americanas.

"Em Mundos Paralelos, Michio Kaku revela o seu notável talento para explicar uma das mais estranhas e mais excitantes possibilidades que emergiram da Física moderna: que o nosso Universo pode ser apenas um entre muitos, talvez infinitamente muitos, dispostos numa vasta rede cósmica. Recorrendo habilmente à analogia e ao humor, Kaku apresenta, com paciência, ao leitor, as variações sobre este tema de universos paralelos, desde a mecânica quântica, a cosmologia e, mais recentemente, a teoria M. A leitura deste livro proporciona ao leitor uma viagem maravilhosa, conduzida por um guia experiente, através de um cosmos cuja compreensão nos obriga a alargar os limites da imaginação." - Brian Greene, Professor de Física e Matemática, Universidade de Columbia, Nova Iorque.

"Uma digressão de leitura acessível e divertida pelas fronteiras da cosmologia." - Sir Martin Rees, Professor de Cosmologia e Astrofísica, Trinity College, Cambridge.

"Em Mundos Paralelos, Michio Kaku transforma primorosamente a fronteira da Física numa espécie de parque de diversões onde o leitor se diverte, de facto, enquanto se debruça sobre a relatividade de Einstein, a mecânica quântica, a cosmologia e a teoria de cordas. Mas aqui a verdadeira história é o modo como Kaku invoca estes instrumentos poderosos para especular sobre universos múltiplos e as suas implicações filosóficas na nossa percepção de Deus e do significado da vida." - Neil de Grasse Tyson, astrofísico e director do Hayden Planetarium, Nova Iorque.

MUNDOS PARALELOS

UMA VIAGEM PELA CRIAÇÃO, DIMENSÕES SUPERIORES E FUTURO DO COSMOS

2.ª Edição

Tradução de Maria Alice Costa

Revisão Científica de Carlos Fiolhais

Departamento de Física Universidade de Coimbra

Editorial Bizâncio Lisboa, 2010

Título original: Parallel Worlds -A Journey Through Creation, Higher Dimensions, and the Future of the Cosmos

© Michio Kaku, 2005

© Imagem da capa: Science Photo Library/ Fototeca

1.ª edição portuguesa: Fevereiro de 2006

2." edição: Março de 2010

Tradução: Maria Alice Costa

Revisão científica: Carlos Fiolhais

Revisão de texto: Helder Guégués

Capa: Cerebralidades

Composição e paginação: Editorial Bizâncio

Impressão e acabamento: Rolo e Filhos II, S. A. -Indústrias Gráficas

Depósito legal n.º 307 579/10

ISBN: 972-53-0285-0

Todos os direitos para a publicação desta obra em Portugal reservados por Editorial Bizâncio, L.

Largo Luís Chaves, 11-11A, 1600-487 Lisboa

Te!.: 21 755 02 28 - 21 752 45 48/Fax: 21 752 00 72

E-mail: bizancio@editorial-bizancio.pt URL: www.editorial-bizancio.pt

Este livro é dedicado à minha querida mulher, Shizue.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

PREFÁCIO

PARTE I: O UNIVERSO

CAPÍTULO UM: Representações do Universo Bebé

CAPÍTULO DOIS: O Universo Paradoxal

CAPÍTULO TRÊS: O Big Bang

CAPÍTULO QUATRO: Inflação e Universos Paralelos

PARTE II: O MULTIVERSO

CAPÍTULO CINCO: Portais Dimensionais e Viagens no Tempo

CAPÍTULO SEIS: Universos Quânticos Paralelos

CAPÍTULO SETE: Teoria M: A Mãe de Todas as Cordas

CAPÍTULO OITO: Um Universo Desenhado

CAPÍTULO NOVE: Em Busca de Ecos da Décima Primeira Dimensão

PARTE III: FUGA PARA O HIPERESPAÇO

CAPÍTULO DEZ: O Fim de Tudo

CAPÍTULO ONZE: Fugir do Universo

CAPÍTULO DOZE: Para Além do Multiverso

NOTAS

GLOSSÁRIO

BIBLIOGRAFIA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos seguintes cientistas que, de bom-grado, dispuseram do seu tempo para conceder entrevistas. Os seus comentários, observações e ideias enriqueceram muito este livro e contribuíram para o seu aprofundamento e focalização.

- Steven Weinberg, Prémio Nobel, Universidade do Texas, Austin
- Murray Gell-Mann, Prémio Nobel, Instituto de Santa Fé e Instituto de Tecnologia da Califórnia
- Leon Lederman, Prémio Nobel, Instituto de Tecnologia do Illinois
- Joseph Rotblat, Prémio Nobel, Hospital de St. Bartholomew's (aposentado)
- Walter Gilbert, Prémio Nobel, Universidade de Harvard
- Henry Kendall, Prémio Nobel, MIT (falecido)
- Alan Guth, físico, MIT

- Sir Martin Rees, astrónomo real, Universidade de Cambridge
- Freeman Dyson, físico, Instituto de Estudos Avançados, Universidade de Princeton
- John Schwarz, físico, Cal Tech
- Lisa Randall, física, Universidade de Harvard
- J. Richard Gott III, físico, Universidade de Princeton
- Neil de Grasse Tyson, astrónomo, Universidade de Princeton e Planetário Hayden
- Paul Davies, físico, Universidade de Adelaide
- Ken Croswell, astrónomo, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Don Goldsmith, astrónomo, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Brian Greene, físico, Universidade de Columbia
- Cumrum Vafa, físico, Universidade de Harvard

- Stuart Samuel, físico, Universidade da Califórnia, Berkeley
- Carl Sagan, astrónomo, Universidade de Cornell (falecido)
- Daniel Greenberger, físico, Colégio da Cidade de Nova Iorque
- V. P. Nair, físico, Colégio da Cidade de Nova Iorque
- Robert P. Kirshner, astrónomo, Universidade de Harvard
- Peter D. Ward, geólogo, Universidade de Washington
- John Barrow, astrónomo, Universidade de Sussex
- Mareia Bartusiak, jornalista de ciência, MIT
- John Casti, físico, Instituto de Santa Fé
- Timothy Ferris, jornalista de ciência
- Michael Lemonick, divulgador de ciência, revista Time
- Fulvio Mela, astrónomo, Universidade de Arizona

- John Horgan, jornalista de ciência
- Richard Muller, físico, Universidade de Califórnia, Berkeley
- Lawrence Krauss, físico, Case Western Reserve University
- Ted Taylor, projectista de bombas atómicas
- Philip Morrison, físico, MIT
- Hans Moravec, cientista de computação, Universidade de Carnegie Mellon
- Rodney Brooks, cientista de computação, Laboratório de Inteligência Artificial, MIT
- Donna Shirley, astrofísica, Laboratório de Propulsão a Jacto
- Dan Wertheimer, astrónomo, SETI@home, Universidade da Cali- fórnia, Berkeley
- Paul Hoffman, jornalista de ciência, revista Discover
- Francis Everitt, físico, Gravity Probe B, Universidade de Stanford

- Sidney Perkowitz, físico, Universidade de Emory

Também gostaria de expressar o meu agradecimento aos seguintes cientistas que, ao longo dos anos, estimularam as discussões sobre física e que muito contribuíram para aperfeiçoar o conteúdo deste livro:

- T. D. Lee, Prémio Nobel, Universidade de Columbia
- Sheldon Glashow, Prémio Nobel, Universidade de Harvard
- Richard Feynman, Prémio Nobel, Cal Tech (falecido)
- Edward Witten, físico, Instituto de Estudos Avançados, Univer- sidade de Princeton
- Joseph Lykken, físico, Laboratório Fermi
- David Gross, físico, Instituto Kavli, Santa Bárbara
- Frank Wilczek, físico, Universidade de Califórnia, Santa Bárbara

- Paul Townsend, físico, Universidade de Cambridge
- Peter van Nieuwenhuizen, físico, Universidade Estatal de Nova Iorque, Stony Brook
- Miguel Virasoro, físico, Universidade de Roma
- Bunji Sakita, físico, Colégio da Cidade de Nova Iorque (falecido)
- Ashok Das, físico, Universidade de Rochester
- Robert Marshak, físico, Colégio da Cidade de Nova Iorque (fale- cido)
- Frank Tipler, físico, Universidade Tulane
- Edward Tryon, físico, Hunter College
- Mitchell Begelman, astrónomo, Universidade do Colorado

Quero agradecer os numerosos comentários que Ken Croswell fez sobre este livro.

Estou igualmente grato ao meu editor, Roger Scholl, que, com a sua grande experiência,

publicou dois dos meus livros. A sua mão hábil e segura bem como os seus comentários ajudaram a clarificar e a aprofundar o conteúdo e a apresentação dos meus livros. Finalmente, gostaria de agradecer ao meu agente, Stuart Krichevsky, que tem ajudado na publicação dos meus livros ao longo dos últimos anos.

PREFÁCIO

A Cosmologia é o estudo do universo como um todo, incluindo o seu nascimento e, talvez, o seu destino final. Não nos surpreende que tenha sofrido numerosas transformações ao longo da sua lenta e penosa história, uma história muitas vezes ensombrada pelos dogmas religiosos e pela superstição.

A primeira revolução em cosmologia foi protagonizada pela introdução do telescópio no século XVII. Com o auxílio do telescópio, Galileu Galilei, na esteira dos grandes astrónomos Nicolau Copérnico e Johannes Kepler, conseguiu abrir, pela primeira vez, o esplendor dos céus à investigação científica séria. O progresso desta primeira fase da cosmologia culminou no trabalho de Isaac Newton, que acabou por formular as leis fundamentais que governam o movimento dos corpos celestes. Em vez da magia e do misticismo, as leis dos corpos celestes passaram a envolver forças calculáveis e reprodutíveis.

Uma segunda revolução na cosmologia iniciou-se com a introdução dos grandes telescópios do século XX, como o do Monte Wilson, com o seu enorme espelho reflector de 2,54 m. Na década de 1920, o astrónomo Edwin Hubble usou este telescópio gigantesco para derrubar dogmas seculares, que afirmavam que o Universo era estático e eterno, demonstrando que as galáxias nos céus se estão a afastar da terra a velocidades enormes - isto é, o Universo está em expansão. Este facto confirmou os resultados da teoria da relatividade geral de Einstein, segundo os quais a arquitectura do espaço-tempo, em vez de ser plana e linear, é dinâmica e curva, o que conduziu à primeira explicação plausível da origem do Universo: o Universo começou com uma explosão cataclísmica denominada big bang, que arremessou as estrelas e as galáxias no espaço. Com o trabalho pioneiro de George Gamow e dos seus colegas sobre a teoria do big bang e o trabalho de Fred Hoyle sobre a origem dos

elementos, emergiu um quadro com as linhas mestras da evolução do Universo.

Uma terceira revolução, que está agora em curso, começou apenas há cinco anos graças a uma bateria de novos instrumentos de alta tecnologia, como satélites espaciais, lasers, detectores de ondas de gravidade, telescópios de raios X e supercomputadores muito rápidos. Dispomos agora de dados mais seguros sobre a natureza do Universo, incluindo a sua idade, a sua composição e talvez até a sua provável morte futura.

Os astrónomos compreendem agora que o Universo está em expansão descontrolada, num crescimento sem limites, tomando-se cada vez mais frio. Se assim continuar, estamos perante a previsão do «big freeze» (grande congelação), quando o Universo mergulhar na escuridão e no frio e toda a vida inteligente morrer.

Este livro trata desta terceira grande revolução. Difere dos meus anteriores livros sobre Física, Para Além de Einstein e Hyperspace, que ajudaram a familiarizar o público com os novos

conceitos de outras dimensões e com a teoria das supercordas. Em Mundos Paralelos, em vez de me debruçar sobre o espaço-tempo, centro-me nos desenvolvimentos revolucionários que se registaram em cosmologia nos últimos anos, com base em novas provas obtidas nos laboratórios na Terra e no espaço mais longínquo, bem como nos recentes avanços da Física teórica. É minha intenção que ele possa ser lido e compreendido sem necessidade de estudos introdutórios em Física ou Cosmologia.

Na parte I deste livro, abordo o estudo do Universo, sumariando os progressos realizados nas fases iniciais da cosmologia, que culminaram na denominada «teoria da inflação» que nos fornece a formulação mais avançada para datar a teoria do big bang. Na parte II, detenho-me especificamente na emergente teoria do multiverso - um mundo feito de múltiplos universos, de entre os quais o nosso é apenas um - e discuto a possibilidade de buracos de verme, de deformações de espaço e de tempo e o modo como as

dimensões superiores os podem ligar. A teoria das supercordas e a teoria M deram o primeiro passo significativo em relação à teoria original de Einstein; fornecem-nos novas provas de que o nosso Universo pode ser apenas um entre muitos. Finalmente, na parte III, analiso o bigfreeze e o que os cientistas actualmente consideram vir a ser o fim do Universo. Apresento ainda uma análise séria, apesar de especulativa, sobre o modo como uma civilização avançada pode, no futuro distante, usar as leis da física para abandonar o nosso Universo daqui a triliões de anos e albergar-se noutro Universo, mais hospitaleiro, onde possa iniciar um processo de renascimento ou voltar para trás no tempo, quando o Universo era mais quente.

Com o fluxo dos novos dados que estamos hoje a receber, com novos instrumentos como os satélites que podem perscrutar os céus, com novos detectores de ondas gravitacionais e com novos aceleradores do tamanho de uma cidade, quase concluídos, os físicos sentem que é provável que

estejamos a entrar numa idade de ouro da cosmologia. É, em resumo, um tempo extraordinário para os físicos e para aqueles que querem compreender as nossas origens e o destino do Universo.

PARTE 1

O UNIVERSO

CAPÍTULO UM
Representações do Universo Bebé

O poeta apenas quer meter a cabeça nos céus. É o lógico que procura meter os céus na sua cabeça. E é a sua cabeça

que se
divide.
G. K. Chesterson

QUANDO ERA CRIANÇA, entrei em conflito com as minhas crenças. Os meus pais foram educados na tradição budista. Mas eu frequentava a catequese aos domingos, e gostava de ouvir as histórias bíblicas sobre baleias, arcas, pilares de sal, costelas e maçãs. Estas parábolas do Antigo Testamento fascinavam-me: eram o que mais me encantava na catequese. As parábolas sobre grandes inundações, arbustos incandescentes e separação de águas pareciam-me muito mais excitantes do que os cânticos e meditações budistas. De facto, estas antigas histórias de heroísmo e de tragédia encerravam lições profundamente morais e éticas que me acompanharam ao longo da vida.

Um dia, na catequese, estudávamos o Génesis. Ler acerca de Deus que trovejava dos céus: «Faça-se luz!» parecia-me muito mais dramático do que a meditação silenciosa sobre o Nirvana.

Com ingénua curiosidade, perguntei à professora: «Deus tem mãe?» Ela tinha, geralmente, uma resposta pronta e uma lição profundamente moral a oferecer. Desta vez, contudo, ficou surpreendida. «Não», respondeu hesitante, «Deus provavelmente não tem mãe.» «Mas então donde veio Deus?» perguntei. Ela murmurou que teria de consultar o padre sobre essa questão.

Não percebi que, sem querer, tinha tocado numa das grandes questões teológicas. Estava intrigado, porque, no Budismo, não existe nenhum Deus, mas um Universo intemporal, sem começo e sem fim. Mais tarde, quando comecei a estudar as grandes mitologias universais, fiquei a saber que havia dois tipos de cosmologias religiosas, a primeira baseada no momento único em que Deus criou o Universo e a segunda baseada na ideia de que o Universo sempre existiu e continuará a existir.

Não podiam estar ambas certas, pensei.

Mais tarde, comecei a descobrir que estes temas comuns atravessam muitas outras culturas.

Na mitologia chinesa, por exemplo, no princípio houve um ovo cósmico. O deus menino P'an Ku habitou durante quase uma eternidade no ovo, que flutuava num mar informe de Caos. Quando, finalmente, o ovo se abriu, P'an Ku cresceu tanto - cerca de 3 metros por dia - que a metade superior da casca do ovo se transformou no céu e a metade inferior se transformou na terra. Ao cabo de 18000 anos, morreu para dar origem ao nosso mundo: o seu sangue transformou-se nos rios, os seus olhos no sol e na lua e a sua voz no trovão.

De várias formas, o mito de P'an Ku espelha um tema que se encontra em muitas outras religiões e mitologias antigas, segundo o qual o Universo emergiu da creatio ex nihilo (criação a partir do nada). Na mitologia grega, o Universo começou a partir de um estado de Caos (de facto, «caos» provém da palavra grega que significa «abismo»). Este vazio sem traços característicos é muitas vezes descrito como um oceano, tal como acontece na mitologia babilónica e japonesa. Este tema também se encontra na antiga

mitologia egípcia, onde o deus sol Ré emergiu de um ovo flutuante. Na mitologia polinésia, o ovo cósmico é substituído por uma casca de coco. Os Maias acreditavam numa variante desta história, segundo a qual o Universo nasce mas morre 5000 anos depois, para renascer várias vezes repetindo o ciclo infindável de nascimentos e mortes.

Estes mitos de creatio ex nihilo contrastam fortemente com a cosmologia budista e com certas formas de hinduísmo. Nestas mitologias, o Universo é intemporal e não tem princípio nem fim. Há muitos níveis de existência, mas o mais elevado é o Nirvana, que é eterno e apenas pode ser atingido através da mais pura meditação. No Mahapurana hindu está escrito: «Se Deus criou o mundo, onde estava Ele antes da Criação? ... Fica a saber que o mundo não foi criado e, tal como o tempo, não tem princípio nem fim.»

Estas mitologias contradizem-se uma à outra, sem que possa haver conciliação aparente entre elas. Excluem-se mutuamente: ou o Universo

teve um começo ou não teve. Isto é, aparentemente, não há meio-termo.

Hoje, contudo, parece estar a emergir uma conciliação a partir de uma direcção completamente nova - o mundo da ciência - em resultado de uma nova geração de instrumentos científicos poderosos que perscrutam o espaço exterior. A mitologia antiga assentava na sabedoria dos contadores de histórias para explicar as origens do nosso mundo. Hoje, os cientistas dispõem de uma bateria de satélites espaciais, lasers, detectores de ondas de gravidade, interferómetros, supercomputadores de alta velocidade e Internet, que estão a revolucionar a nossa compreensão do Universo e nos dão uma descrição convincente da sua criação.

O que está a emergir gradualmente dos dados é uma grande síntese destas duas mitologias opostas. Talvez, especulam os cientistas, a Criação ocorra repetidas vezes num oceano intemporal de Nirvana. Nesta nova representação, o nosso Universo pode comparar-se a uma bolha

que flutua num «oceano» muito mais vasto, onde novas bolhas estão constantemente a formar-se. De acordo com esta teoria, os universos, como bolhas que se formam na água a ferver, estão em criação contínua flutuando numa arena muito mais vasta, o Nirvana do hiperespaço a onze dimensões. São cada vez mais numerosos os físicos que sugerem que o nosso Universo começou, de facto, a partir de um cataclismo abrasador, o big bang, mas que ele também coexiste com outros universos num oceano eterno. Se estivermos certos, estão a ocorrer big bangs no preciso momento em que o leitor está a ler esta frase.

Os físicos e os astrónomos de todo o mundo especulam agora sobre a configuração destes mundos paralelos, sobre as leis a que devem obedecer, sobre o modo como se originaram e como acabarão por morrer. Estes mundos paralelos talvez sejam estéreis, não tendo os ingredientes básicos da vida. Ou talvez sejam semelhantes ao nosso Universo, separados por um único evento quântico que fez com que divergissem do nosso.

Alguns físicos especulam que, provavelmente, se a vida se tomar insustentável um dia, no nosso Universo actual à medida que ele envelhecer e se tomar mais frio, poderemos ser forçados a abandoná-lo e a fugir para outro Universo.

O motor destas novas teorias é o fluxo maciço de dados provenientes dos satélites espaciais, que fotografam os vestígios da própria criação. Curiosamente, os cientistas estão agora a prestar atenção àquilo que aconteceu há 380000 anos após o big bang, quando a luz remanescente da criação pela primeira vez encheu o Universo. Talvez a imagem mais convincente desta radiação da criação venha de um novo instrumento, o satélite WMAP.

O SATÉLITE WMAP

«Incrível!» e «Um marco histórico!», contavam-se entre as palavras proferidas em Fevereiro de 2003 pelos astrofísicos, geralmente reservados, para descreverem os preciosos dados colhidos pelos seus últimos satélites. O WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, sonda

de Wilkinson de anisotropia de micro-ondas), do nome do pioneiro cosmólogo David Wilkinson, lançado em 2001, forneceu aos cientistas, com uma precisão sem precedentes, uma imagem pormenorizada do Universo primitivo, quando este tinha apenas 380 000 anos de idade. A energia colossal libertada pela bola de fogo original que deu origem às estrelas e às galáxias circulou no nosso Universo durante milhares de milhões de anos. Hoje, foi finalmente filmada pelo satélite WMAP, com pormenores extraordinários, revelando um panorama nunca visto, numa fotografia do céu que mostra com pormenor surpreendente a radiação de micro-ondas criada pelo próprio big bang, a que a revista Time chamou «eco da criação». Os astrónomos não voltarão a observar o céu da mesma maneira.

As descobertas do satélite WMAP representam «a maturidade da cosmologia, a sua passagem da especulação para a ciência exacta» declarou John Bahcall do Instituto de Estudos Avançados, em Princeton. Pela primeira vez, este

dilúvio de dados do período primitivo da história do Universo permitiu que os cosmólogos dessem uma resposta precisa à mais antiga de todas as perguntas que intrigaram a humanidade desde que, pela primeira vez, admirámos a beleza fulgurante do céu noctumo. Que idade tem o Universo? De que é feito? Qual é o seu destino?

(Em 1992, um satélite anterior, o COBE [Cosmic Background Explorer Satellite]) ofereceu-nos as primeiras imagens pouco nítidas desta radiação de fundo que enche o céu. Embora este resultado tenha sido revolucionário, também foi decepcionante, porque ofereceu uma imagem desfocada do Universo primitivo. Isto não impediu, contudo, que a imprensa, exultante, chamasse a esta fotografia de «a face de Deus». No entanto, uma descrição mais cuidada destas imagens pouco nítidas enviadas pelo COBE permitiu concluir que elas representam uma «imagem de bebé», uma imagem do Universo na sua infância. Se o Universo hoje é um homem de 80 anos, as imagens do COBE e, mais tarde, as do

WMAP mostraram-no como um recém-nascido, com menos de um dia.)

O WMAP pode fornecer-nos imagens inéditas do Universo na sua infância porque o céu noctumo é como uma máquina do tempo. Como a luz viaja a uma velocidade finita, as estrelas que observamos à noite são vistas como eram outrora e não como são hoje. É preciso pouco mais de um segundo para a luz da Lua chegar à Terra; assim, quando contemplamos a Lua, na realidade vemo-la como ela era um segundo antes. São precisos cerca de oito minutos para a luz chegar do Sol à Terra. De modo idêntico, muitas das estrelas conhecidas que vemos nos céus estão tão distantes que são precisos 10 a 100 anos para que a sua luz chegue até aos nossos olhos. (Por outras palavras, distam da Terra de 10 a 100 anos-luz. Um ano-luz é aproximadamente 9,465 biliões de quilómetros, ou seja, a distância que a luz percorre num ano.) A luz proveniente das galáxias distantes pode estar a centenas de milhões ou de milhares de milhões de anos-luz.

Por conseguinte, representam luz «fóssil», emitida antes do aparecimento dos dinossauros. Alguns dos objectos mais distantes que não podemos observar à vista desarmada são os chamados quasares, enormes máquinas galácticas que produzem quantidades inacreditáveis de energia perto do horizonte do Universo visível, que podem encontrar-se a 12 ou 13 mil milhões de anos-luz da Terra. E agora, o satélite WMAP detectou radiação, emitida antes disso, pela bola de fogo primordial que originou o Universo.

Para descrever o Universo, os cosmólogos recorrem, por vezes, ao exemplo de olhar do cimo do Empire State Building, que parece elevarse mais de cem andares acima de Manhattan. Quando se olha lá de cima para baixo, mal se vê o nível da rua. Se a base do Empire State Building representar o big bang, então, olhando de cima para baixo, as galáxias mais distantes que conseguimos ver situar-se-iam ao nível do décimo andar. Os quasares mais distantes vistos com telescópio situar-se-iam ao nível do sétimo

andar. O fundo cósmico medido pelo satélite WMAP corresponderia a 15 milímetros acima do nível da rua. E agora este satélite deu-nos a medida exacta da idade do Universo com a espantosa precisão de um por cento: 13,7 mil milhões de anos.

A missão do WMAP é o culminar de uma década de trabalho árduo dos astrofísicos. O projecto do satélite WMAP foi proposto à NASA pela primeira vez em 1995, tendo sido aprovado dois anos depois. Em 30 de Junho de 2001, a NASA enviou o satélite WMAP a bordo do foguetão Delta II para uma órbita solar situada entre a Terra e o Sol. O destino foi cuidadosamente escolhido: o ponto 2 de Lagrange (ou L2, um ponto especial, de estabilidade relativa, perto da Terra). Deste ponto de observação, o satélite permite observar à distância o Sol, a Terra e a Lua e oferece um panorama completamente livre do Universo. Perscruta todo o céu em seis meses.

Os seus instrumentos são os mais modernos. Com os seus poderosos sensores, pode detectar a radiação de micro-ondas de baixa intensidade emanada do big bang, que banha todo o Universo, mas que é largamente absorvida pela nossa atmosfera. O satélite feito de alumínio mede 3,8 por 5 metros e pesa 840 kg. Tem dois telescópios de costas um para o outro que focam a radiação de micro-ondas proveniente do céu e, pouco depois, enviam os dados para a Terra. É alimentado por 419 W de electricidade (a potência de 5 lâmpadas comuns). A um milhão e seiscentos mil quilómetros da Terra, o satélite WMAP encontra-se acima das perturbações atmosféricas da Terra, que podem ocultar o fundo residual de micro-ondas e obtém uma leitura contínua de todo o céu.

O satélite completou a sua primeira observação de todo o céu em Abril de 2002. Seis meses depois, foi feita uma segunda observação completa. Hoje, o satélite WMAP já nos deu o mapa mais pormenorizado e mais compreensível

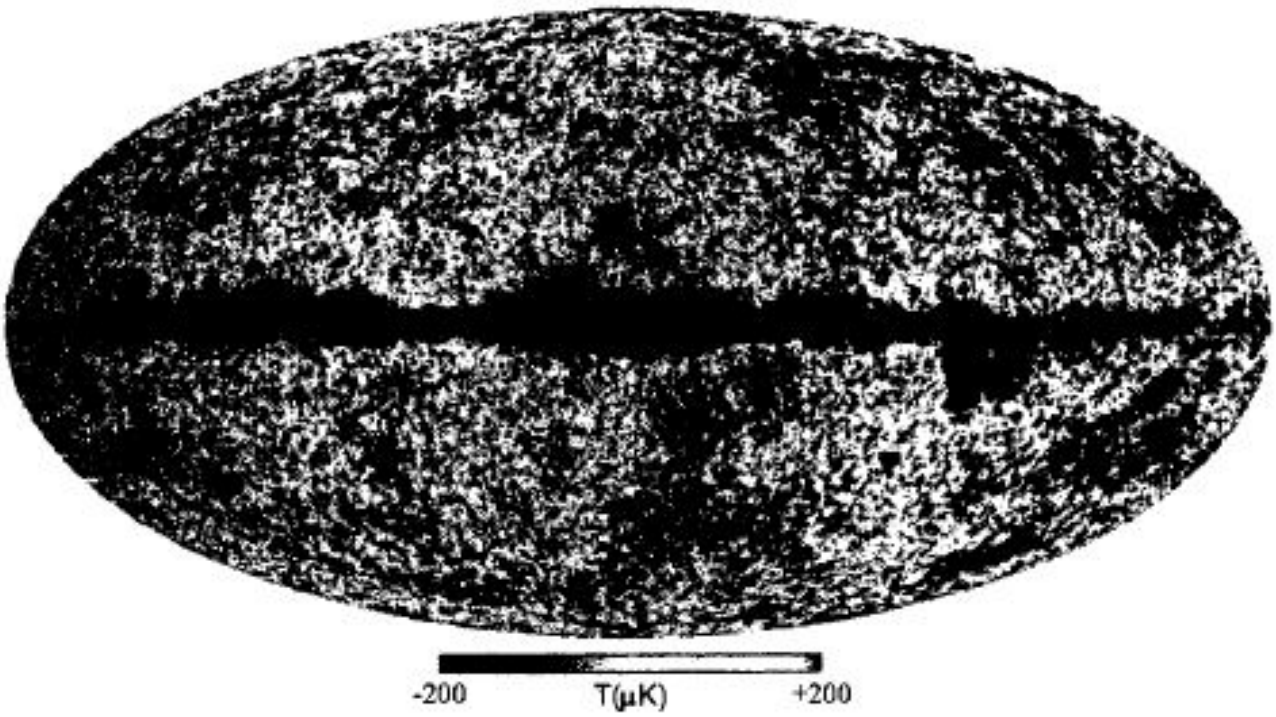
jamais produzido desta radiação. O fundo de radiação de micro-ondas que o WMAP detectou foi previsto pela primeira vez por George Gamow e seus colaboradores, em 1948, que fizeram notar que a esta radiação está associada a uma determinada temperatura. O WMAP permitiu verificar que esta temperatura está acima do zero absoluto, ou seja, entre 2,7249 e 2,7251 kelvin.

A olho nu, o mapa do céu do WMAP parece muito pouco interessante; é apenas um conjunto de pontos aleatórios. Contudo, este conjunto de pontos surpreendeu bastante alguns astrónomos, porque representa flutuações ou irregularidades do cataclismo original e abrasador do big bang pouco depois de o Universo ter sido criado. Estas pequenas flutuações parecem «sementes» que se expandiram muito à medida que o Universo explodia. Tais pequenas sementes correspondem hoje aos aglomerados de galáxias e às galáxias que iluminam os céus. Por outras palavras, a nossa Via Láctea e todos os aglomerados de galáxias que observamos à nossa volta foram

outrora uma destas pequenas flutuações. Medindo a distribuição destas flutuações, vemos a origem dos aglomerados galácticos, como pontos pintados na tapeçaria cósmica que paira sobre o céu nocturno.

Hoje, o volume dos dados astronómicos ultrapassa as teorias científicas. De facto, poderia dizer que estamos a entrar numa idade de ouro da cosmologia. (Por mais impressionante que o satélite WMAP seja, é muito provável que venha a ser superado pelo satélite Planck que os Europeus tencionam lançar em 2007 (foi, de facto, lançado em 2009); o Planck dará aos astrónomos imagens ainda mais pormenorizadas da radiação de fundo de micro-ondas.) A cosmologia hoje está finalmente a atingir a maturidade, emergindo das sombras da ciência depois de ter definhado durante anos num pântano de especulações e conjecturas desenfreadas. Historicamente, os cosmólogos foram vítimas de uma reputação um tanto ofensiva. À paixão com que propunham grandes teorias sobre o Universo

apenas correspondia a espantosa pobreza dos seus dados. Lev Landau, galardoado com o Prémio Nobel, costumava brincar dizendo que «os cosmólogos se enganaram muitas vezes, mas nunca têm dúvidas». Às ciências aplica-se um velho adágio: «Há especulação, a que se segue mais especulação, e a seguir surge a cosmologia.»



«Imagem de bebé» do Universo, quando ele tinha apenas 380 000 anos, fornecid
pelo satélite WMAP. Cada mancha representa muito provavelmente uma pe
quena flutuação quântica na luz remanescente da criação, que se expandiu par
dar origem às galáxias e aos aglomerados de galáxias que vemos hoje.

Quando era físico em Harvard, no final da década de l960, brincava um pouco com a

possibilidade de me dedicar à cosmologia. Desde a infância que me sentia fascinado pela origem do Universo. No entanto, um rápido relance sobre esta área mostrou-me que ela era ainda embaraçosamente primitiva. Não era de modo nenhum uma ciência experimental, em que se pudessem testar hipóteses com instrumentos precisos, mas simplesmente um conjunto de teorias vagas e muito especulativas. Os cosmólogos envolviam-se em acalorados debates sobre se o Universo tinha nascido de uma explosão cósmica ou se sempre existira num estado estacionário. Os dados eram muito poucos, mas as teorias ultrapassavam-nos rapidamente. Na verdade, quanto menos dados havia, mais aceso era o debate.

Ao longo da história da cosmologia, a escassez de dados fiáveis levou também a hostilidades prolongadas e desagradáveis entre os cosmólogos, que, muitas vezes, chegaram a durar décadas. (Por exemplo, pouco antes de o astrónomo Allan Sandage, do Observatório do Monte

Wilson, fazer uma comunicação sobre a idade do Universo, o orador anterior anunciou sarcasticamente: «O que vão ouvir a seguir está completamente errado.»[2] E Sandage, quando soube que um grupo rival tinha conseguido grande publicidade, teria berrado: «É um chorrilho de disparates. Guerra - é a guerra!»[3])

A IDADE DO UNIVERSO

Os astrónomos interessaram-se, em particular, por conhecer a idade do Universo. Durante séculos, estudiosos, sacerdotes e teólogos tentaram avaliar a idade do Universo usando o único método à sua disposição: a genealogia da humanidade desde Adão e Eva. No século passado, os geólogos usaram a radiação residual armazenada nas rochas para obterem a melhor estimativa da idade da Terra. Em comparação, o satélite WMAP mediu, nos nossos dias, o eco do próprio big bang para nos apresentar, com mais fiabilidade, a idade do Universo. Os dados do WMAP revelam que o Universo nasceu numa

abrasadora explosão que ocorreu há 13,7 mil milhões de anos.

(Ao longo dos anos, o que mais embaraçou a cosmologia foi o facto de se ter julgado muitas vezes que o Universo era mais jovem do que os planetas e as estrelas, o que se deveu à imperfeição dos dados. As estimativas anteriores da idade do Universo eram da ordem de 1 ou 2 mil milhões de anos, o que estava em desacordo com a idade da Terra [4,5 mil milhões de anos] e das estrelas mais antigas [12 mil milhões de anos]. Estas contradições já foram eliminadas.)

O WMAP trouxe uma bizarra reviravolta ao debate sobre a constituição do Universo, uma questão já formulada pelos Gregos há cerca de 2000 anos. No século passado, os cientistas acreditavam que conheciam a resposta a esta questão. Após milhares de diligentes experiências, concluíram que o Universo era basicamente constituído por cerca de uma centena de diferentes átomos, dispostos ordenadamente n uma tabela periódica, que começava com o elemento

hidrogénio. É isto que constitui a base da química moderna sendo, de facto, ensinado em todas as escolas secundárias. O WMAP pôs agora fim a essa crença.

Confirmando experiências anteriores, o satélite WMAP mostrou que a matéria visível que vemos à nossa volta (incluindo as montanhas, os planetas, as estrelas e as galáxias) perfaz uns modestos 4% do conteúdo total da matéria e da energia do Universo. (Desses 4%, a maior parte encontra-se na forma de hidrogénio e hélio e provavelmente apenas 0,03% toma a forma de elementos pesados.) A maior parte do Universo é, na realidade, constituída por matéria misteriosa e invisível de origem totalmente desconhecida. Os elementos familiares que constituem o nosso mundo representam apenas 0,03% do Universo. Em certo sentido, a ciência recuou séculos, para tempos anteriores ao aparecimento da hipótese atómica, quando os físicos verificaram que o Universo é dominado por formas de matéria e de energia inteiramente novas e desconhecidas.

De acordo com o WMAP, 23% do Universo é constituído por uma substância estranha e indeterminada chamada matéria negra, que tem peso e preenche as galáxias num halo gigantesco, mas é totalmente invisível. A matéria negra é tão penetrante e abundante que, na nossa Via Láctea, excede em peso todas as estrelas por um factor de dez. Embora invisível, esta estranha matéria negra pode ser observada indirectamente pelos cientistas, porque ela curva a luz das estrelas, tal como o vidro e, assim, pode ser localizada através da quantidade de distorção óptica que produz.

Relativamente aos estranhos resultados obtidos pelo satélite WMAP, o astrónomo de Princeton John Bahcall afirmou: «Vivemos num Universo inexplicável e implausível, cujas características definidoras conhecemos agora.»[4]

Mas talvez a maior surpresa dos dados do WMAP, que tem suscitado dúvidas na comunidade científica, foi que 73% do Universo, portanto, a grande maioria, é constituída por uma

forma de energia totalmente desconhecida denominada energia negra, ou a energia invisível oculta no vácuo do espaço. Introduzida por Einstein em 1917 e mais tarde posta de lado (chamou-lhe o seu «maior erro»), a energia negra ou a energia do nada ou do espaço vazio está a reemergir como a força motriz de todo o Universo. Acredita-se hoje que esta energia negra cria um novo campo de antigravidade que afasta as galáxias umas das outras. O destino final do próprio Universo será determinado pela energia negra.

Actualmente ninguém compreende de onde vem esta «energia do nada». «Francamente, não a compreendemos. Sabemos quais são os seus efeitos, mas não temos indícios nenhuns ... ninguém sabe nada sobre isso»[5] admite Craig Hogan, astrónomo da Universidade de Washington, em Seattle.

Se considerarmos a mais recente teoria das partículas subatómicas e tentarmos calcular o valor desta energia negra, encontramos um número

que está errado por um factor de 10^{120} (isto é, o número um seguido de 120 zeros). Esta discrepância entre teoria e experiência é, sem dúvida, o maior hiato alguma vez encontrado na história da ciência. É um dos nossos maiores embaraços - a nossa melhor teoria não pode calcular o valor da maior fonte de energia de todo o Universo. Seguramente, há muitos Prémios Nobel à espera de indivíduos audazes que possam desvendar o mistério da matéria e da energia negras.

INFLAÇÃO

Os astrónomos ainda estão a desbravar esta avalancha de dados provenientes do WMAP. À medida que são eliminadas as concepções mais antigas do Universo, está a emergir uma nova imagem cosmológica. «Lançámos a pedra angular de uma teoria coerente unificada do cosmos»[6], declara Charles L. Bennett, que chefia uma equipa internacional que ajudou a construir e a verificar o satélite WMAP. Até agora, a teoria dominante é a «teoria do Universo inflacionário»,

o principal aperfeiçoamento da teoria do big bang, proposto pelo físico Alan Guth do MIT. No cenário inflacionário, no primeiro bilionésimo de bilionésimo de segundo, uma força misteriosa de antigravidade fez com que o Universo se expandisse muito mais rapidamente do que se pensava. O período inflacionário era incrivelmente explosivo, e o Universo expandia-se muito mais rapidamente do que a velocidade da luz. (O que não viola a afirmação de Einstein de que nada pode viajar mais depressa do que a luz, porque é o espaço vazio que se expande. Os objectos materiais não podem quebrar a barreira da luz.) Numa fracção de segundo, o Universo expandiu-se de um factor incrível de 10^{50}.

Para visualizar o poder deste período inflacionário, imagine um balão que está a ser enchido rapidamente, com as galáxias pintadas na sua superfície. O Universo que vemos povoado de estrelas e de galáxias está todo representado na superfície deste balão, e não no seu interior. Agora desenhe um círculo microscópico no

balão. Este minúsculo círculo representa o Universo visível, tudo o que podemos ver com o auxílio de telescópios. (Por comparação, se todo o Universo visível fosse tão pequeno como uma partícula subatómica, então o Universo real seria muito maior do que o Universo que vemos à nossa volta.) Por outras palavras, a expansão inflacionária era tão intensa que há regiões inteiras do Universo para além do Universo visível que estarão para sempre fora do nosso alcance.

A inflação era tão grande, de facto, que o balão parece plano na nossa vizinhança, facto que foi experimentalmente verificado pelo satélite WMAP. Do mesmo modo que a Terra nos parece plana, já que somos muito pequenos comparados com o raio da Terra, o Universo apenas parece plano porque é encurvado numa escala muito maior.

Admitindo que o Universo primitivo sofreu este processo de inflação, podemos, quase sem esforço, explicar muitos dos enigmas do Universo, como o facto de ele parecer plano e

uniforme. Referindo-se à teoria da inflação, o físico Joel Primack disse: «Até agora, nenhuma teoria tão bela como esta se revelou errada.»[7]

O MULTIVERSO

O Universo inflacionário, embora seja coerente com os dados do satélite WMAP, ainda não responde à questão: o que causou a inflação? O que produziu esta força de antigravidade que inflacionou o Universo? Há mais de cinquenta propostas que explicam o que provocou a inflação e o que, finalmente, lhe pôs termo, originando o Universo que temos. Mas não há consenso universal. A maior parte dos físicos agarra-se à ideia nuclear de um período inflacionário rápido, mas não há uma proposta definitiva que explique o que está por trás da inflação.

Como ninguém sabe ao certo como começou a inflação, há sempre a possibilidade de o mesmo mecanismo voltar a acontecer - as explosões inflacionárias podem repetir-se. Esta é a ideia proposta pelo físico russo Andrei Linde da

Universidade de Stanford - o mecanismo, qualquer que seja, que provocou a inflação súbita do Universo ainda está a funcionar, fazendo talvez com que outras regiões distantes do Universo também sofram inflação de forma aleatória.

De acordo com esta teoria, uma pequena porção do Universo pode inflacionar subitamente e «germinam, dando origem a um Universo «filho» ou Universo «bebé» que, por sua vez, pode gerar um outro Universo bebé, e assim sucessivamente. Suponha que sopramos bolas de sabão para o ar. Se soprarmos com muita força, verificamos que algumas bolas de sabão se dividem ao meio originando novas bolas. Do mesmo modo, os universos podem gerar continuamente novos universos. Neste cenário, os big bangs estão a acontecer sucessivamente. Se isto for verdade, podemos viver num mar de universos, tal como uma bolha que flutua num oceano de bolhas. Na verdade, uma palavra

melhor que «Universo» seria «multiverso» ou «megaverso».

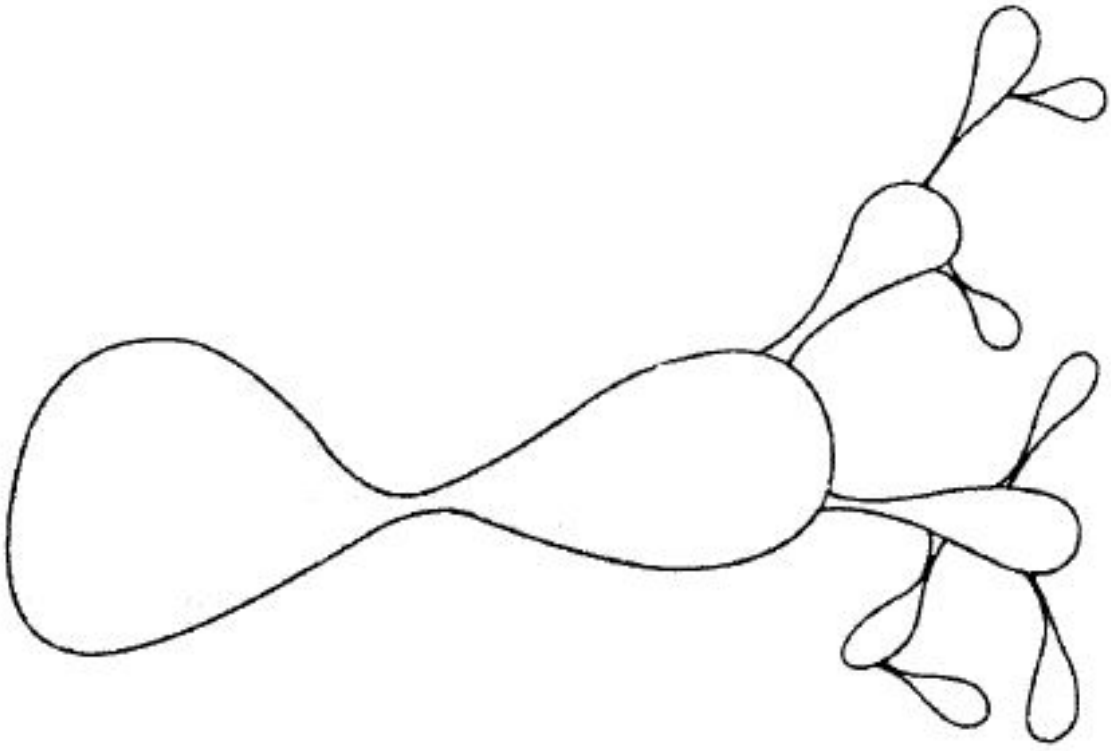
Linde chama a esta teoria inflação eterna e auto-reprodutora ou «inflação caótica», porque ele prevê um processo infindável de inflação contínua de universos paralelos. «A inflação obriga a conceber a existência de universos múltiplos»[8], declara Alan Guth, o primeiro a propor a teoria inflacionária.

Esta teoria também significa que o nosso Universo pode, nalgum momento, gerar um Universo bebé. Talvez o nosso próprio Universo tenha sido gerado a partir de um Universo anterior mais antigo.

Como o astrónomo real da Grã-Bretanha, Sir Martin Rees, afirmou: «Aquilo a que convencionalmente chamamos 'Universo' pode ser apenas um elemento de um conjunto. Podem existir inúmeras maneiras de fazer com que as leis sejam diferentes. O Universo onde emergimos pertence ao invulgar subconjunto que permite

que a complexidade e a consciência se desenvolvam.»[9]

Toda esta actividade de investigação sobre o multiverso deu origem a especulação sobre a configuração que esses outros universos podem ter, sobre a possibilidade de albergar vida e até mesmo de saber se é possível estabelecer contacto com eles. Têm sido feitos cálculos pelos cientistas do Cal Tech, do MIT, de Princeton e de outros centros para determinar se entrar num Universo paralelo é consistente com as leis da física.



Estão a aumentar as provas científicas que sustentam a existência do multi
verso no qual universos inteiros estão continuamente a «brotar» de outros uni
versos. Se tal for verdadeiro, será possível unificar duas das maiores mitolo
gias religiosas, o Génesis e o Nirvana. A Criação ocorrerá continuamente na
fábrica do Nirvana intemporal.

Estão a aumentar as provas científicas que sustentam a existência do multiverso no qual universos inteiros estão continuamente a «brotam» de outros universos. Se tal for verdadeiro, será possível unificar duas das maiores mitologias religiosas, o Génesis e o Nirvana. A Criação ocorrerá continuamente na fábrica do Nirvana intemporal.

TEORIA M E A DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

A ideia de universos paralelos foi, outrora, alvo de suspeita por parte dos cientistas que a acusavam de ser território de místicos, de charlatães e de excêntricos. Qualquer cientista que se aventurasse a trabalhar em universos paralelos sujeitava-se ao ridículo e punha em perigo a sua carreira, uma vez que, até hoje, não há provas experimentais em seu abono.

Porém, recentemente, houve uma reviravolta dramática, pois as mentes mais brilhantes começaram a trabalhar entusiasticamente no assunto. A razão desta súbita alteração foi o aparecimento de uma nova teoria, a teoria de cordas e a sua versão mais recente, a teoria M, que não só promete desvendar a natureza do multiverso, mas também nos permite «ler a mente de Deus», como Einstein eloquentemente dizia. Se se provar que estas teorias estão correctas, elas marcarão o momento culminante dos últimos dois mil anos de investigação em Física, desde que os

Gregos começaram a procurar uma teoria simples e compreensível do Universo.

O número de artigos sobre a teoria de cordas e a teoria M é surpreendente, chegando a dezenas de milhares. Fizeram-se centenas de conferências internacionais sobre o assunto. As principais universidades do mundo têm um grupo que trabalha em teoria de cordas ou que tenta intensivamente conhecer essa teoria, que, embora não seja testável com os instrumentos rudimentares de que actualmente dispomos, despertou um enorme interesse entre os físicos, matemáticos e, até mesmo, entre os experimentalistas que esperam vir a testar a periferia da teoria com poderosos detectores de ondas de gravidade no espaço exterior e com enormes esmagadores de átomos.

Finalmente, esta teoria pode responder à questão que tem atraído os cosmólogos desde que foi proposta a teoria do big bang: o que aconteceu antes?

Isto exige que apliquemos toda a força do nosso conhecimento físico e as descobertas

físicas acumuladas ao longo dos séculos. Por outras palavras, precisamos de uma «teoria de tudo», uma teoria de todas as forças físicas que regem o Universo. Einstein passou os últimos trinta anos da sua vida à procura desta teoria, mas não conseguiu encontrá-la.

No presente, a teoria principal (e única) que pode explicar a diversidade de forças que governam o Universo é a teoria de cordas ou, na sua última incarnação, a teoria M. (M deriva de «membrana», mas também pode significar «mistério», «magia», ou mesmo «mãe». Embora a teoria de cordas e a teoria M sejam, na sua essência, idênticas, a teoria M é um sistema mais misterioso e mais sofisticado que unifica várias teorias de cordas.)

Desde os Gregos que os filósofos especulam que os últimos blocos constituintes da matéria podem ser partículas minúsculas denominadas átomos. Hoje, dispomos de poderosos esmagadores de átomos e aceleradores de partículas que nos permitem separar o próprio átomo em

electrões e núcleos, que, por sua vez, podem ser subdivididos em partículassubatómicas ainda mais pequenas. Mas, em vez de encontrar um sistema elegante e simples, descobriu-se com frustração que havia centenas de partículas subatómicas jorrando dos nossos aceleradores, com nomes estranhos como neutrinos, quarks, mesões, leptões, hadrões, gluões, bosões W, e assim por diante. É dificil acreditar que a natureza, ao seu nível mais fundamental, pudesse criar uma selva confusa de partículas subatómicas bizarras.

A teoria de cordas e a teoria M baseiam-se na ideia simples e elegante de que a espantosa variedade de partículas subatómicas que constituem o Universo são semelhantes às notas que se podem tocar numa corda de violino ou numa membrana como a pele de um tambor. (Não se trata de cordas e membranas comuns; existem em hiperespaços de dez e onze dimensões.)

Tradicionalmente, os físicos consideravam os electrões como partículas pontuais, infinitesimamente pequenas. Isto significava que tiveram de

introduzir uma partícula pontual diferente para cada uma das centenas de partículas subatómicas que descobriram, o que era bastante confuso. Mas, de acordo com a teoria de cordas, se tivéssemos um supermicroscópio que nos permitisse sondar o núcleo de um electrão, veríamos que não era uma partícula pontual, mas sim uma minúscula corda vibratória. Só parecia ser uma partícula pontual porque os nossos instrumentos eram demasiado rudimentares.

Esta minúscula corda, por sua vez, vibra com frequências e ressonâncias diferentes. Se quiséssemos tocar esta corda que vibra, mudaria de modo e transformar-se-ia noutra partícula subatómica, como um quark. Se a tocássemos de novo, transformar-se-ia num neutrino. Deste modo, podemos pensar as partículas subatómicas como se fossem diferentes notas musicais da mesma corda. Podemos agora substituir as centenas de partículas subatómicas observadas no laboratório por um único objecto, a corda.

Neste novo vocabulário, as leis da física, cuidadosamente construídas ao longo de milhares de anos de experimentação, mais não são do que leis de harmonia que se podem descrever como cordas e membranas. As leis da química são as melodias que podemos tocar nestas cordas. O Universo é uma sinfonia de cordas. E a «mente de Deus», de que Einstein falou eloquentemente, é a música cósmica que ressoa através do hiperespaço. (O que coloca outra questão. Se o Universo é uma sinfonia de cordas, haverá algum compositor? Tratarei desta questão no capítulo 12.)

ANALOGIA MUSICAL	CORDAS
Notação musical	Matemática
Cordas de violino	Supercordas
Notas	Partículas subatómicas
Leis da harmonia	Física
Melodias	Química
Universo	Sinfonia de cordas
«Mente de Deus»	Música que ressoa no hiperespaço
Compositor	?

O FIM DO UNIVERSO

O WMAP não só nos oferece uma imagem mais rigorosa do Universo primitivo como também nos dá uma imagem muito pormenorizada do modo como o nosso Universo terminará. Tal como a misteriosa força da antigravidade afastou as galáxias no começo do tempo, essa mesma força está agora a conduzir o Universo para o seu destino final. Antes, os astrónomos pensavam que a expansão do Universo ia abrandar gradualmente. Agora, compreendemos que o Universo está, na realidade, em aceleração, e que as

galáxias se afastam de nósa uma velocidade cada vez maior. A mesma energia negra que perfaz 73% da matéria e da energia do Universo está a acelerar a expansão do Universo, afastando as galáxias umas das outras a velocidades cada vez maiores. «O Universo comporta-se como um condutor que abranda, quando se aproxima de um sinal vermelho e depois carrega no acelerador, quando a luz passa a verde»[10], diz Adam Riess, do Space Telescope Institute.

A menos que aconteça alguma coisa que inverta esta expansão, dentro de 150 mil milhões de anos a nossa galáxia (Via Láctea) ficará completamente deserta, pois 99,99999% de todas as galáxias vizinhas passarão velozmente a fronteira do Universo visível. As galáxias que conhecemos no céu noctumo afastar-se-ão tão rapidamente que a sua luz nunca chegará até nós. As próprias galáxias não desaparecerão, mas estarão longe de mais para que os nossos telescópios as possam observar. Embora o Universo visível contenha aproximadamente 100 mil milhões de galáxias,

daqui a 150 mil milhões de anos apenas serão visíveis alguns milhares de galáxias do superaglomerado local de galáxias. Mais tarde, o nosso grupo local, constituído por cerca de trinta e seis galáxias, abarcará todo o Universo visível e milhares de milhões de galáxias afastar-se-ão da fronteira do horizonte. (Isto porque a gravidade no grupo local é suficiente para dominar esta expansão. Ironicamente, à medida que as galáxias distantes desaparecem da vista, qualquer astrónomo que viva nesta era escura pode não conseguir detectar a expansão do Universo, uma vez que o grupo local de galáxias não se expande no seu interior. No futuro distante, os astrónomos que analisem o céu noctumo pela primeira vez talvez não compreendam que existe expansão concluindo que o Universo é estático, sendo constituído apenas por trinta e seis galáxias).

Se esta força de antigravidade continuar, o Universo acabará por morrer num bigfreeze. Toda a vida inteligente acabará por congelar finalmente numa morte agonizante, à medida que a

temperatura do espaço exterior desce para o zero absoluto, situação em que as moléculas mal se podem mover. Num determinado momento, daqui a triliões e triliões de anos, as estrelas deixarão de brilhar, os seus fogos nucleares extinguir-se-ão quando se esgotar o seu combustível, escurecendo para sempre o céu noctumo. A expansão cósmica deixará apenas um Universo frio e morto, contendo estrelas anãs, estrelas de neutrões e buracos negros. E, ainda mais adiante, no futuro, os próprios buracos negros evaporar-se-ão, deixando uma mistura fria e sem vida de partículas elementares à deriva. Num Universo tão desolado e frio, a vida inteligente, por razões evidentes, toma-se fisicamente impossível. As leis rígidas da termodinâmica proíbem a transferência de qualquer informação num meio tão gelado e toda a vida acabará por cessar.

A primeira compreensão de que o Universo pode acabar por morrer no gelo data do século XIX. Comentando o conceito deprimente de que as leis da física aparentemente condicionam a

inteligência humana, Charles Darwin escreveu: «Acreditando como eu que o homem do futuro distante será uma criatura muito mais perfeita do que agora, é uma ideia intolerável que ele e outros seres vivos estejam condenados à aniquilação completa depois de um progresso contínuo tão lento.»[11] Infelizmente, os últimos dados do satélite WMAP parecem confirmar os piores receios de Darwin.

FUGIR PARA O HIPERESPAÇO

Há uma lei da Física segundo a qual a vida inteligente no Universo terá necessariamente de enfrentar esta morte definitiva. Mas também há uma lei da evolução que diz que, quando o meio se transforma, a vida pode ir embora, adaptar-se ou morrer. Como é impossível adaptar-se a um Universo que está a congelar até à morte, as únicas opções são morrer ou abandonar o Universo. Ao enfrentarem a morte do Universo, é possível que daqui a biliões de anos, as civilizações reúnam a tecnologia necessária para abandonar o

nosso Universo num «salva-vidas» dimensional à procura de um outro Universo muito mais jovem e mais quente? Ou usarão a sua tecnologia para construir uma prega no tempo e voltar ao seu passado, quando as temperaturas eram mais altas?

Alguns físicos propuseram esquemas plausíveis, embora muito especulativos, recorrendo à Física mais avançada, para fornecer a visão mais realista de portais dimensionais ou passagens para outro Universo. Os quadros negros dos laboratórios de Física de todo o mundo estão cheios de equações abstractas com as quais os físicos calculam se é ou não possível usar «energia exótica» e buracos negros para encontrar uma passagem para outro Universo. Pode uma civilização avançada com uma tecnologia milhões de milhares de milhões de anos mais sofisticada do que a nossa explorar as leis conhecidas da Física para entrar noutros universos?

O cosmólogo Stephen Hawking, da Universidade de Cambridge, gracejou: «Os buracos de

verme, se existirem, serão ideais para viajar rapidamente no tempo. Por um buraco de verme é possível passar para o outro lado da galáxia e voltar atrás a tempo do jantar.»[12]

E, se os buracos de verme e os portais dimensionais forem demasiado pequenos para permitir o êxodo final do Universo, há outra opção: reduzir o conteúdo total de informação de uma civilização inteligente avançada ao nível molecular e injectá-la através do portal para se juntar do outro lado. Deste modo, uma civilização inteira pode injectar as suas sementes através de um portão dimensional e restabelecer-se em todo o seu esplendor. O hiperespaço, em vez de ser um brinquedo dos físicos teóricos, poderia transformar-se na derradeira salvação para a vida inteligente num Universo moribundo.

Porém, para compreender plenamente as implicações deste evento, temos primeiro de compreender como os cosmólogos e os físicos chegaram meticulosamente a estas surpreendentes conclusões. Ao longo de Mundos

Paralelos, revisitaremos a história da cosmologia, salientando os paradoxos que nela proliferaram durante séculos, culminando na teoria da inflação, que, embora consistente com todos os dados experimentais, nos obriga a tomar em consideração o conceito de universos múltiplos.

CAPÍTULO DOIS
O Universo Paradoxal

Se eu tivesse estado presente no acto da criação, teria dado algumas sugestões úteis para melhorar a ordem do Universo

Afonso, o Sábio

Raios partam o sistema solar. A luz é má; os planetas estão demasiado longe; os cometas são pestilentos; os meios são medíocres, eu podia fazer [um

Universo
mel-
hor.
Lord Jeffrey

Na peça Como lhe Aprouver, Shakespeare escreveu as palavras imortais:

Todo o mundo é um palco
E todos os homens e mulheres são meros actores.
Todos entram e saem.

Durante a Idade Média, o mundo era, de facto, um palco, mas pequeno e estático, constituído por uma Terra minúscula e plana em tomo da qual os corpos celestes se moviam misteriosamente nas suas órbitas celestes perfeitas. Os cometas eram considerados presságios que anunciavam a morte dos reis. Quando o grande cometa de 1066 passou por Inglaterra, aterrou os soldados saxões do rei Harold que rapidamente foi vencido pelas tropas de Guilherme, o Conquistador, preparando o cenário para a formação da moderna Inglaterra.

O mesmo cometa cortou de novo os céus da Inglaterra em 1682, voltando a espalhar o pânico e o medo por toda a Europa. Toda a gente, segundo parecia, desde os camponeses aos reis, estava hipnotizada por este inesperado visitante celeste que varria os céus. De onde vinha o cometa? Para onde ia? Qual era o seu significado?

Um nobre abastado, Edmund Halley, astrónomo amador, estava tão intrigado com o cometa que procurou a opinião de um dos maiores cientistas da época, Isaac Newton. Quando perguntou a Newton que força poderia controlar o movimento do cometa, Newton respondeu calmamente que o cometa se movia numa elipse em consequência de uma lei de força que varia com o inverso do quadrado (isto é, a força que se exerce sobre o cometa é inversamente proporcional ao quadrado da sua distância ao Sol). De facto, disse Newton, tinha estado a seguir o cometa com um telescópio que tinha inventado (o telescópio reflector usado ainda hoje

pelos astrónomos em todo o mundo) e a sua trajectória seguia a sua lei de gravitação que desenvolvera vinte anos antes.

Halley ficou mais surpreendido do que se pode imaginar. «Como sabe?»[1] perguntou. «Porque a calculei», replicou Newton. Nem mesmo nos seus sonhos mais fantásticos Halley esperava ouvir que o segredo dos corpos celestes, que tinham intrigado a humanidade desde que os primeiros homens observaram os céus, podia ser explicado por uma nova lei da gravidade.

Surpreendido com o significado desta monumental descoberta, Halley ofereceu-se generosamente para custear a publicação desta nova teoria. Em 1687, encorajado e financiado por Halley, Newton publicou o seu épico trabalho Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Princípios Matemáticos de Filosofia Natural) que tem sido considerado uma das mais importantes obras já publicadas. Num só golpe, os cientistas que desconheciam as leis mais importantes do sistema solar ficaram subitamente

habilitados a prever, com grande precisão, o movimento dos corpos celestes.

Tão grande foi o impacto dos Principia nos salões e nas cortes da Europa que Alexander Pope escreveu:

> *A Natureza e as suas leis estavam ocultas na noite,*
> *Deus disse: Faça-se Newton! E tudo foi luz.*

(Halley compreendeu que, se a órbita do cometa era uma elipse, tomava-se possível calcular quando voltaria a passar nos céus de Londres. Procurando velhos registos, descobriu que os cometas de 1531, 1607 e 1682 eram, na realidade, o mesmo cometa. O cometa que foi tão decisivo para a criação da moderna Inglaterra em 1066 foi visto, de acordo com os registos históricos, desde Júlio César. Halley previu que o cometa voltaria a passar em 1758, muito depois de Newton e Halley terem morrido. Quando o cometa voltou a aparecer no dia de Natal desse

ano, conforme o que fora previsto, foi chamado cometa de Halley.)

Newton tinha descoberto a lei da gravitação universal vinte anos antes, quando a peste negra obrigou ao encerramento da Universidade de Cambridge e ele se viu forçado a retirar-se para a sua casa de campo, em Woolsthorpe. Recordou entusiasmado que, enquanto percorria a sua propriedade, vira uma maçã cair. Então fez a si próprio uma pergunta que haveria de mudar o curso da história humana: se uma maçã cai, a lua também cairá? Num brilhante rasgo de génio, Newton compreendeu que as maçãs, a lua e os planetas obedeciam todos à mesma lei da gravitação, e que todos eles caíam devido ao efeito de uma lei do inverso do quadrado. Quando Newton descobriu que a matemática do século XVII era demasiado primitiva para trabalhar com esta lei de força, inventou um novo ramo da matemática, o cálculo, para determinar o movimento das maçãs e das luas.

Nos Principia, Newton também estabeleceu as leis da mecânica, as leis do movimento que determinam as trajectórias de todos os corpos celestes e terrestres. Estas leis estabelecem as bases para a concepção de máquinas, para a utilização da energia do vapor e para a construção de locomotivas, o que, por sua vez, abriu caminho à Revolução Industrial e à civilização moderna. Hoje, todos os arranha-céus, pontes e foguetões são construídos de acordo com as leis do movimento de Newton.

Newton não nos deu só as eternas leis do movimento; também revolucionou a nossa visão do mundo, dando-nos uma imagem do Universo completamente nova onde as leis misteriosas que governam os corpos celestes são idênticas às leis que governam a Terra. O palco da vida já não estava rodeado de terríficos presságios celestes; as mesmas leis que se aplicavam aos actores também se aplicavam ao cenário.

PARADOXO DE BENTLEY

Como os Principia eram um trabalho muito ambicioso, surgiram os primeiros paradoxos intrigantes acerca da construção do Universo. Se o mundo é um palco, qual é o seu tamanho? É infinito ou finito? Esta é uma velha questão; até o filósofo romano Lucrécio se deixou fascinar por ela. «O Universo não é limitado em nenhuma direcção»2 , escreveu. «Se o fosse, teria necessariamente um limite algures. Mas é evidente que uma coisa não pode ter um limite, a menos que haja alguma coisa fora dela que a limite... E o mesmo acontece em todas as dimensões, deste ou daquele lado, para cima ou para baixo, no Universo não há fim.» Mas a teoria de Newton também revelou os paradoxos inerentes a qualquer teoria de um Universo finito ou infinito. As questões mais simples levam a um pântano de contradições. Mesmo quando Newton desfrutava de fama devida à publicação dos Principia, descobriu que a sua teoria da gravitação estava irremediavelmente crivada de paradoxos. Em 1692, um clérigo, o Reverendo Richard Bentley

escreveu a Newton uma carta muito simples, mas um tanto incómoda. Uma vez que a gravidade era sempre atractiva e nunca repulsiva, escrevia Bentley, isto significava que qualquer conjunto de estrelas entraria naturalmente em colapso sobre si próprio. Se o Universo era finito, então o céu noctumo, em vez de ser eterno e estático, seria cenário de uma incrível mortandade, quando as estrelas colidissem umas com as outras e coalescessem numa superestrela incandescente. Mas Bentley também sublinhou que, se o Universo fosse infinito, então a força exercida em qualquer objecto para o mover para a direita ou para a esquerda, também seria infinita e, por conseguinte, as estrelas seriam feitas em pedaços, em cataclismos de fogo.

À primeira vista, parecia que Bentley tinha derrotado Newton. Ou o Universo era finito (e entrava em colapso numa bola de fogo) ou era infinito (e, nesse caso, todas as estrelas seriam apagadas). Ambas as possibilidades eram desastrosas para a nova teoria proposta por Newton.

Este problema, pela primeira vez na história, revelava os paradoxos subtis, mas inerentes a qualquer teoria da gravidade, quando aplicada a todo o Universo.

Depois de muito pensar, Newton respondeu que tinha encontrado uma falha no argumento. Preferia um Universo infinito, mas totalmente uniforme. Assim, se uma estrela é arrastada para a direita por um número infinito de estrelas, este impulso é completamente anulado por um impulso igual de outra sequência infinita de estrelas noutra direcção. Todas as forças se equilibram em todas as direcções, o que cria um Universo estático. Assim, se a gravidade é sempre atractiva, a única solução do paradoxo de Bentley é um Universo uniforme e infinito.

Newton tinha, de facto, encontrado uma falha no argumento de Bentley. Mas Newton era suficientemente inteligente para perceber os pontos fracos da sua própria resposta. Admitiu numa carta que a sua solução, embora tecnicamente correcta, era intrinsecamente instável. O

Universo uniforme, mas infinito de Newton era como um castelo de cartas: aparentemente estável, mas sujeito a desabar à mais leve perturbação. Era possível calcular que o mais pequeno movimento numa única estrela desencadearia uma reacção em cadeia e os aglomerados de estrelas começariam imediatamente a entrar em colapso. A resposta de Newton era frágil porque apelava a um «poder divino» que impedisse que o seu castelo de cartas desabasse. «É preciso um milagre contínuo para impedir que o Sol e as estrelas fixas se precipitem em conjunto por causa da gravidade»3, escreveu.

Para Newton o Universo era como um relógio gigantesco a que Deus deu corda no início do tempo, que tem trabalhado desde sempre, de acordo com as suas três leis do movimento, sem interferência divina. Mas, por vezes, até o próprio Deus tem de intervir e sacudir um pouco o Universo, para que ele não entre em colapso. (Por outras palavras, Deus ocasionalmente tem de

intervir para impedir que os cenários do palco da vida colapsem sobre os actores).

PARADOXO DE OLBERS

Para além do paradoxo de Bentley, havia um paradoxo ainda mais profundo inerente a qualquer Universo infinito. O paradoxo de Olbers começa por perguntar porque é que o céu noctumo é escuro. Astrónomos tão antigos como Johannes Kepler compreenderam que, se o Universo fosse uniforme e infinito, então para onde quer que olhássemos, veríamos a luz proveniente de um número infinito de estrelas. Observando qualquer ponto do céu noctumo, a nossa linha de visão acabaria por atravessar um incontável número de estrelas e, assim, receberia uma quantidade infinita de luz das estrelas. Deste modo, o céu noctumo estaria em fogo! O facto de o céu noctumo ser escuro e não claro tem constituído, desde há séculos, um paradoxo cósmico subtil mas profundo.

O paradoxo de Olbers, tal como o paradoxo de Bentley, é aparentemente simples, mas tem

atormentado muitas gerações de filósofos e de astrónomos. Os paradoxos de Bentley e de Olbers dependem da observação de que, num Universo infinito, as forças gravitacionais e os feixes de luz podem somar-se para produzir resultados infinitos e sem significado. Ao longo dos séculos, têm sido propostas inúmeras respostas incorrectas. Kepler estava tão incomodado com este paradoxo que admitiu simplesmente que o Universo era finito, fechado numa concha e, por isso, apenas uma quantidade finita de luz das estrelas podia chegar aos nossos olhos.

A confusão sobre este paradoxo é tão grande que um estudo de 1987 mostrou que 70% dos manuais de Astronomia apresentam a resposta incorrecta.

Em primeiro lugar, podemos tentar resolver o paradoxo de Olbers afirmando que a luz das estrelas é absorvida por nuvens de poeira. Esta foi a resposta dada pelo próprio Heinrich Wilhelm Olbers em 1823 quando, pela primeira vez, formulou claramente o paradoxo. Olbers escreveu:

«Ainda bem que a Terra não recebe a luz das estrelas de todos os pontos da abóbada celeste! No entanto, com esse brilho e esse calor incríveis, que atinge um valor 90.000 vezes superior ao que nós agora experimentamos, o Todo-Poderoso podia facilmente ter concebido organismos capazes de se adaptarem a condições tão extremas.»4 Para que a Terra não fosse banhada «por um fundo tão brilhante como o disco do Sol», Olbers sugere que as nuvens de poeira deviam absorver o calor intenso para tornar possível a vida na Terra. Por exemplo, o centro ígneo da nossa Via Láctea, que, por direito, devia dominar o céu nocturno, está envolto em nuvens de poeira. Se olharmos em direcção à constelação do Sagitário, onde se situa o centro da Via Láctea, não vemos uma bola do fogo em chamas, mas uma mancha escura.

No entanto, as nuvens de poeira não podem explicar genuinamente o paradoxo de Olbers. Ao longo de um tempo infinito, as nuvens de poeira absorverão a luz do Sol proveniente de um

número infinito de estrelas e, finalmente, ficarão incandescentes como a superficie de uma estrela. Assim, mesmo as nuvens de poeira estarão a brilhar no céu nocturno.

De modo análogo, podemos supor que, quanto mais longe estiver uma estrela, menos brilho terá. Isto é verdade, mas também não pode ser esta a resposta. Se olhamos para uma porção do céu nocturno, as estrelas muito distantes são, na verdade, pálidas, mas, quanto mais longe olharmos, mais estrelas haverá. Estes dois efeitos anular-se-iam num Universo uniforme, deixando o céu noctumo branco. (Isto acontece porque a intensidade da luz das estrelas varia com o quadrado da distância o que é compensado pelo facto de o número de estrelas aumentar com o quadrado da distância).

Curiosamente, a primeira pessoa a resolver o paradoxo foi o escritor americano de histórias de mistério Edgar Allan Poe, que desde cedo se interessou pela Astronomia. Pouco antes da sua morte, publicou muitas das suas observações

num poema filosófico incoerente chamado Eureka: A Prose Poem. Numa passagem notável, escreveu:

> *Se a sucessão das estrelas não tivesse fim, então o fundo do céu apresentaria uma luminosidade uniforme, semelhante à que é exibida pela Galáxia - por conseguinte, não poderia haver absolutamente nenhum ponto, em todo esse fundo, onde não existisse uma estrela. Assim, a única maneira, de, em tais condições, compreendermos os vazios que os nossos telescópios encontram em inúmeras direcções, seria supor que a distância do fundo invisível [é] tão grande que nenhum raio vindo de lá pode chegar até nós.*[5]

Concluía observando que a ideia «é demasiado bela para não conter a Verdade na sua essência.»

Esta é a chave para a resposta correcta. O Universo não é infinitamente antigo. Houve um Génesis. A luz que chega aos nossos olhos tem um atalho finito. A luz das estrelas mais distantes ainda não teve tempo de chegar até nós. O cosmólogo Edward Harrison, que foi o primeiro a descobrir que Poe tinha resolvido o paradoxo de Olbers, escreveu: «Quando pela primeira vez li as palavras de Poe, fiquei estupefacto: como podia um poeta, quando muito um cientista amador, ter compreendido a verdadeira explicação há cento e quarenta anos, quando nas nossas escolas a explicação errada... ainda hoje está a ser ensinada?»[6]

Em 1901, o físico escocês Lord Kelvin também descobriu a resposta correcta. Compreendeu que, quando olhamos para o céu noctumo, estamos a olhar para ele tal como era no passado, e não como é hoje, porque a velocidade da luz, embora muito grande para os padrões da Terra (300 000 quilómetros por segundo), ainda é finita e a luz das estrelas distantes demora muito tempo a

atingir a Terra. Kelvin calculou que, para o céu noctumo ser claro, o Universo teria de ter centenas de biliões de anos-luz. Mas, como o Universo não tem biliões de anos de idade, o céu é necessariamente escuro. (Há ainda uma segunda razão que contribui para que o céu noctumo seja escuro, que é a duração finita das estrelas, medida em milhares de milhões de anos).

Recentemente, tomou-se possível verificar experimentalmente a correcção da solução de Poe, usando satélites como o telescópio espacial Hubble. Estes poderosos telescópios, por sua vez, permitem-nos responder a uma pergunta que até as crianças fazem: Onde fica a estrela mais distante? E o que está para além dessa estrela? Para responder a estas questões, os astrónomos programaram o telescópio espacial Hubble para empreender uma tarefa histórica: tirar um instantâneo do ponto mais distante do Universo. Para captar emissões muito ténues dos recônditos mais distantes do espaço, o telescópio teve de desempenhar uma tarefa inédita: visar

precisamente o mesmo ponto do céu perto da constelação de Oríon durante várias centenas de horas, o que exigiu que fosse perfeitamente alinhado durante quatrocentas órbitas à Terra. O projecto foi tão dificil que teve de se estender ao longo de quatro meses.

Em 2004, foi tirada uma fotografia espantosa que foi notícia de primeira página em todo o mundo. Mostrava um conjunto de dez mil galáxias na sua infância, no momento em que se separavam do caos do próprio big bang. «Podemos ter visto o fim do princípio»[7], declarou Anton Koekemoer, do Space Telescope Science Institute. A fotografia mostrava uma mistura de galáxias ténues a cerca de 13 mil milhões de anos-luz da Terra - isto é, foram precisos cerca de 13 mil milhões de anos para que a sua luz chegasse à Terra. Uma vez que o Universo tem apenas 13,7 mil milhões de anos de idade, isto significa que estas galáxias se formaram aproximadamente quinhentos milhões de anos após a criação, quando as primeiras estrelas e galáxias

se estavam a condensar emergindo do «caldo» de gases libertados pelo big bang. «O Hubble leva-nos à distância do lançamento de uma pedra do próprio big bang»8 , disse o astrónomo Massimo Stivavelli do Instituto.

Mas isto levanta a questão: o que há para além das galáxias mais distantes? Quando observamos atentamente esta espantosa fotografia, é bem visível que, entre estas galáxias, há apenas escuridão. Esta escuridão é que faz com que o céu noctumo seja escuro. É o último atalho para a luz das estrelas distantes. No entanto, esta escuridão é, na realidade, a radiação de fundo de micro-ondas. Assim, a resposta final à questão «porque é que o céu noctumo é escuro» é que, na realidade, o céu noctumo não é completamente escuro. (Se os nossos olhos pudessem de algum modo ver a radiação de micro-ondas e não apenas a luz visível, veríamos a radiação do big bang inundando o céu noctumo. Em certo sentido, a radiação do big bang está presente todas as noites. Se os nossos olhos fossem capazes de ver micro-

ondas, poderíamos observar que, para além das estrelas mais distantes, fica a própria criação).

EINSTEIN, O REBELDE

As leis de Newton tiveram tanto êxito que foram precisas duas centenas de anos para que a ciência desse o próximo passo decisivo com o trabalho de Einstein. Quando começou a sua carreira parecia pouco provável que Einstein levasse a cabo tal revolução. Depois de ter acabado o curso no Instituto Politécnico de Zurique, na Suíça, em 1900, encontrou-se desesperadamente desempregado. A sua carreira foi dificultada pelos professores que não gostavam deste estudante com pouca vergonha e convencido que, frequentemente, faltava às aulas. As suas cartas suplicantes e depressivas mostram o abismo a que ele desceu. Consideravase um falhado e um doloroso peso financeiro para os pais. Numa carta pungente, confessou até que tinha pensado pôr termo à vida: «O infortúnio dos meus pobres pais, que durante tantos anos nunca tiveram um momento de felicidade, pesa muito sobre mim...

Não passo de um fardo para eles... seria, decerto, melhor se eu não estivesse vivo»9, escreveu desanimado.

Em desespero de causa, pensou trabalhar numa loja de câmbios ou numa companhia de seguros. Chegou a arranjar um emprego a ensinar crianças, mas discutiu com o patrão e foi despedido. Quando a sua namorada Mileva Marie ficou inesperadamente grávida, compreendeu tristemente que o filho seria ilegítimo, porque não tinha recursos para se casar com ela. (Ninguém sabe o que aconteceu à sua filha ilegítima, Lieserl.) E o choque muito profundo que sofreu, quando o pai morreu subitamente, deixou-o num precipício emocional de que nunca recuperou completamente. O pai morreu convencido de que o seu filho era um falhado.

Embora 1901-1902 talvez tenha sido o pior período da sua vida, o que salvou a sua vida do esquecimento foi a recomendação de um colega, Marcel Grossman, que moveu alguns cordelinhos para lhe arranjar um emprego como modesto

funcionário no Registo de Patentes da Suíça, em Berna.

PARADOXOS DA RELATIVIDADE

À primeira vista, a repartição de patentes era um lugar onde não parecia provável que surgisse a maior revolução na Física desde Newton. Mas tinha as suas vantagens. Depois de despachar rapidamente as solicitações de patentes que se empilhavam na sua secretária, Einstein sentava-se e voltava a um sonho de criança. Na sua infância, Einstein tinha lido um livro de Aaron Bernstein, People s Book on Natural Science, «Um trabalho que li com ansiosa atenção», recordará ele. Bernstein pedia ao leitor que imaginasse que percorria a electricidade quando ela corria ao longo de um fio do telégrafo. Quando tinha 16 anos, Einstein colocou a si próprio uma questão semelhante: qual seria o aspecto de um feixe de luz, se fosse possível apanhá-lo? Einstein responderia: «Esta questão resultou de um paradoxo sobre o qual eu reflecti quando tinha 16 anos: se eu perseguir um feixe de luz com a velocidade e

(a velocidade da luz no vácuo), observarei esse raio de luz como um campo eletromagnético em repouso que oscila espacialmente. No entanto, tal parece não existir, nem na base da experiência nem na base das equações de Maxwell.»[10] Em criança, Einstein pensava que, se fosse possível correr ao longo de um feixe de luz, ele pareceria congelado como uma onda imóvel. No entanto, nunca ninguém viu luz congelada, pelo que alguma coisa estava terrivelmente errada.

No virar do século, eram dois os grandes pilares da Física sobre os quais tudo assentava: a teoria da mecânica e da gravitação de Newton e a teoria da luz de Maxwell. Na década de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell mostrou que a luz consiste de campos eléctricos e magnéticos em vibração, transformando-se constantemente um no outro. O que Einstein descobriu, para seu grande espanto, foi que estes dois pilares eram contraditórios e que um deles teria de ser derrubado.

Nas equações de Maxwell encontrou a solução do enigma que o tinha perseguido durante dez anos. Einstein descobriu uma coisa que o próprio Maxwell tinha deixado escapar: as equações de Maxwell mostravam que a luz viajava a uma velocidade constante, independentemente da velocidade com que tentássemos apanhá-la. A velocidade da luz c era a mesma em todas os sistemas inerciais (isto é, sistemas que se movem a uma velocidade constante). Quer estejamos parados, quer viajemos num comboio ou num cometa veloz, veremos um feixe de luz que corre à nossa frente com a mesma velocidade. Independentemente da velocidade com que nos movemos, nunca poderemos ultrapassar a luz.

Isto conduziu imediatamente a um emaranhado de paradoxos. Suponha, por momentos, que um astronauta tenta apanhar um feixe de luz que se move velozmente. O astronauta acelera no seu foguetão até que corre a par do feixe de luz. Um observador situado na Terra, ao presenciar esta hipotética perseguição, diria que o astronauta e o

feixe de luz se moviam ao lado um do outro. Contudo, o astronauta diria uma coisa completamente diferente, que o feixe de luz ia à sua frente, como se a sua nave estivesse em repouso.

A questão que se colocava a Einstein era: como podem duas pessoas interpretar de modo tão diferente o mesmo evento? De acordo com a teoria de Newton, é sempre possível apanhar o feixe de luz; no mundo de Einstein, isso era impossível. Havia, compreendeu ele subitamente, uma falha crucial nos fundamentos da Física. Na Primavera de 1905, Einstein relembrou que «uma tempestade rebentou na minha cabeça». Num ápice, descobriu finalmente a solução: o tempo decorre em ritmos diferentes, que dependem da velocidade do movimento do objecto que se desloca. De facto, quanto mais depressa uma pessoa se mover, mais lenta é a progressão do tempo. O tempo não é um valor absoluto, como Newton pensara. De acordo com Newton, o tempo decorre uniformemente em todo o Universo, pelo que a passagem de um segundo na Terra era

idêntica à passagem de um segundo em Marte ou em Júpiter. Os relógios trabalham em sincronia absoluta no Universo. No entanto, segundo Einstein, relógios diferentes funcionam com velocidades diferentes.

Se o tempo pudesse mudar de acordo com a nossa velocidade, compreendeu Einstein[11], então outras quantidades, como o comprimento, a matéria e a energia, também deveriam mudar. Descobriu que, quanto mais rapidamente nos movermos, maior será a contracção das distâncias (que, por vezes, se designa por contracção de Lorentz-Fitzgerald). De modo análogo, quanto mais velozmente nos movermos, mais pesados nos tomamos. (De facto, quando nos aproximamos da velocidade da luz, o tempo abrandará até parar, as distâncias contrair-se-ão até se anularem e a massa tomar-se-á infinita, o que é absurdo. Esta é a razão pela qual não é possível quebrar a barreira da luz, que é o limite último da velocidade no Universo.)

A estranha distorção do espaço-tempo levou um poeta a escrever:

Havia um jovem chamado Fisk
Que praticava esgrima.
Tão rápidos eram os seus movimentos,
Que a contracção de Fitzgerald
Reduziu o seu florete a um disco.

Do mesmo modo que a descoberta de Newton unificou a física da terra com a física dos céus, Einstein unificou o espaço com o tempo. Mas também mostrou que a matéria e a energia estão unificadas e, por conseguinte, podem transformar-se uma na outra. Se um objecto se tomar tanto mais pesado quanto mais rapidamente se mover, então tal significa que a energia do movimento se está a transformar em matéria. O inverso também é verdadeiro - a matéria pode ser convertida em energia. Einstein calculou a quantidade de energia que seria convertida em matéria e chegou à fórmula E = mc2, isto é, mesmo uma pequena quantidade de matéria m é

multiplicada por um número enorme (o quadrado da velocidade da luz) transformando-a na energia E. Assim, ficou a saber-se que a fonte de energia secreta das próprias estrelas era a conversão da matéria em energia através desta equação, sendo esta conversão que ilumina o Universo. O segredo das estrelas podia derivar da simples asserção de que a velocidade da luz é a mesma em todos os sistemas inerciais.

Tal como Newton antes dele, Einstein modificou a nossa visão do palco da vida. No mundo de Newton, todos os actores sabiam precisamente que horas eram e como eram medidas as distâncias. O ritmo da passagem do tempo e as dimensões do palco nunca se alteravam. Mas a relatividade deu-nos urna compreensão bizarra do espaço e do tempo. No Universo de Einstein, todos os actores têm relógios de pulso que marcam tempos diferentes, o que significa que é impossível sincronizar todos os relógios dos actores no palco. Marcar os ensaios para o meio-dia significa coisas diferentes para os vários actores. De

facto, acontecem coisas estranhas quando os actores correm no palco. Quanto mais depressa se movem, mais devagar andam os seus relógios e mais pesados e planos os seus corpos ficam.

Seriam necessários anos para que as ideias de Einstein fossem reconhecidas pela comunidade científica. Mas Einstein não ficou parado; quis aplicar a sua nova teoria de relatividade à própria gravidade. Compreendeu a dificuldade da tarefa: teria de alterar a teoria mais bem sucedida do seu tempo. Max Planck, fundador da teoria quântica, advertiu-o: «Como velhos amigos, devo advertir-te de que não serás bem sucedido, e mesmo que o sejas, ninguém acreditará em ti.»[12]

Einstein compreendeu que a sua nova teoria da relatividade violava a teoria da gravidade de Newton. De acordo com Newton, a gravidade viajava instantaneamente através do Universo, o que levantava uma questão que até por vezes as crianças colocam: «O que acontece se o Sol desaparecer?» Para Newton todo o Universo assistiria instantânea e simultaneamente ao

desaparecimento do Sol. Mas, de acordo com a teoria da relatividade restrita, isso é impossível, uma vez que o desaparecimento de uma estrela estava limitado pela velocidade da luz. Segundo a relatividade, o desaparecimento súbito do Sol provocaria uma onda de choque esférica de gravidade que se expandiria à velocidade da luz. Os observadores situados no exterior da onda de choque diriam que o Sol ainda estava a brilhar, uma vez que a gravidade não tinha tido tempo de chegar até eles. Mas um observador que se situasse no interior da onda de choque diria que o Sol tinha desaparecido. Para resolver este problema, Einstein introduziu uma imagem completamente diferente do espaço e do tempo.

A FORÇA COMO CURVATURA DO ESPAÇO

Newton concebia o espaço e o tempo como uma vasta arena vazia onde os eventos podiam ocorrer, de acordo com as suas leis do movimento. O palco estava cheio de maravilhas e de mistérios, mas era essencialmente inerte e

desprovido de movimento, assistindo passivamente à dança da natureza. Einstein, contudo, revolucionou esta ideia: o próprio palco transformou-se numa parte importante da vida. No Universo de Einstein, o espaço e o tempo não eram uma arena estática como Newton admitia, mas dinâmica, inclinando-se e curvando-se de formas estranhas. Suponha que o palco da vida é substituído por uma rede de circo, onde os actores caem suavemente sob o seu próprio peso. Numa tal arena, o palco toma-se tão importante como os próprios actores.

Imagine uma bola de bowling que se afunda suavemente sobre um colchão. Se atirar um berlinde para a superfície deformada do colchão, ele percorrerá uma trajectória curva, orbitando em tomo da bola de bowling. Um newtoniano, vendo de longe o berlinde a descrever círculos em tomo da bola de bowling, poderia concluir que a bola de bowling exercia uma força misteriosa sobre o berlinde; poderia ainda dizer que a bola de

bowling exercia uma atracção instantânea que obrigava o berlinde a deslocar-se para o centro.

Para um relativista, que pode observar de perto o movimento do berlinde no colchão, é óbvio que não existe nenhuma força. Há apenas uma inclinação no colchão, que obriga o berlinde a mover-se numa linha curva. Para o relativista, não há uma atracção, há apenas um impulso exercido pela superfície curva sobre o berlinde. Se substituirmos o berlinde pela Terra e a bola de bowling pelo Sol e o colchão pelo espaço-tempo, verificaremos que a Terra se move em volta do Sol não devido à atracção da gravidade, mas porque o Sol deforma o espaço em redor da Terra, criando um impulso que obriga a Terra a mover-se num círculo.

Einstein foi, assim, levado a acreditar que a gravidade era mais parecida com uma estrutura do que com uma força invisível que actuasse instantaneamente através do Universo. Se alguém agitar rapidamente esta estrutura, formam-se ondas que se propagam pela superfície a uma

velocidade definida. Isto resolve o paradoxo do desaparecimento do Sol. Se a gravidade é um subproduto da curvatura da estrutura do espaço-tempo, então o desaparecimento do Sol pode ser comparado com a acção de retirar rapidamente a bola de bowling do colchão. À medida que retoma a sua forma original, ondas propagam-se a uma velocidade definida. Assim, reduzindo a gravidade à curvatura do espaço e do tempo, Einstein conseguiu reconciliar a gravidade com a relatividade.

Imagine uma formiga que caminha sobre uma folha de papel enrugado. Caminhará como um marinheiro bêbedo, balançando-se para a direita e para a esquerda, enquanto tenta atravessar o terreno enrugado. A formiga protestará que não está bêbeda, mas que uma força misteriosa a arrasta empurrando-a para a direita e para a esquerda. Para a formiga, o espaço está cheio de forças misteriosas que a impedem de caminhar numa trajectória em linha recta. No entanto, olhando de perto para a formiga, verificamos que não há

nenhuma força que a atraia. Ela é empurrada pelas dobras da folha de papel enrugado. As forças que actuam sobre a formiga são uma ilusão causada pela curvatura do espaço. A «atracção» da força é, na realidade, o «impulso» criado quando ela caminha sobre uma dobra do papel. Por outras palavras, a gravidade não atrai; o espaço empurra.

Em 1915, Einstein foi finalmente capaz de completar aquilo a que chamou teoria da relatividade geral, que desde então passou a ser a arquitectura sobre a qual assenta toda a nossa cosmologia. Nesta nova surpreendente representação, a gravidade não era uma força independente que preenchesse o Universo, mas o efeito aparente da curvatura da estrutura do espaço-tempo. A sua teoria era tão poderosa que ele podia resumi-la numa equação com poucos centímetros de comprimento. Nesta brilhante teoria, a curvatura de espaço-tempo era determinada pela matéria e energia que continha. Imagine que atira uma pedra para um lago, gerando uma série de

ondas que se propagam. Quanto maior for a pedra, maior será a deformação da superfície do lago. De modo análogo, quanto maior for a estrela, maior será a curvatura do espaço-tempo à sua volta.

O NASCIMENTO DA COSMOLOGIA

Einstein tentou usar esta imagem para descrever o Universo como um todo. Teve de se confrontar com o paradoxo de Bentley, formulado há séculos, mas que ele não conhecia. Na década de 1920, a maior parte dos astrónomos acreditava que o Universo era uniforme e estático. Deste modo, Einstein começou por pressupor que o Universo está uniformemente preenchido de estrelas e de poeira. Num modelo, o Universo podia ser comparado a um enorme balão ou bolha. Nós vivemos na superfície do balão. As estrelas e as galáxias que vemos à nossa volta podem ser comparadas a manchas pintadas na superfície do balão.

Para surpresa sua, quando tentou resolver as suas equações, verificou que o Universo se

tomava dinâmico. Einstein deparou-se com o mesmo problema identificado por Bentley cerca de duzentos anos antes. Uma vez que a gravidade é sempre atractiva e nunca repulsiva, um conjunto finito de estrelas podia entrar em colapso num cataclismo abrasador. Isto, no entanto, contradizia a sabedoria prevalecente no princípio do século XX segundo a qual o Universo era estático e uniforme.

Como revolucionário que era, Einstein não podia acreditar que o Universo fosse dinâmico. Como Newton e muitos outros, Einstein acreditava num Universo estático. Assim, em 1917, Einstein viu-se obrigado a introduzir um novo termo nas suas equações, um «factor artificial» que introduzia uma nova força na sua teoria, uma força de «antigravidade» que impelia as estrelas para longe umas das outras. Einstein chamou-lhe «constante cosmológica», um patinho feio que parecia uma reflexão tardia na teoria de Einstein. Einstein então decidiu arbitrariamente que esta antigravidade anulava a atracção da gravidade,

criando um Universo estático. Por outras palavras, o Universo tomou-se estático por decreto: a contracção do Universo para o interior devido à gravidade era anulada pela força exercida para o exterior pela energia negra. (Durante setenta anos, esta força de antigravidade foi considerada uma espécie de órfã, até às descobertas dos últimos anos).

Em 1917, o físico holandês Willem de Sitter apresentou uma outra solução para a teoria de Einstein, segundo a qual o Universo era infinito, mas completamente desprovido de qualquer matéria; de facto, consistia apenas em energia no vácuo, a constante cosmológica. Esta força de antigravidade pura era suficiente para provocar uma expansão exponencial do Universo. Mesmo sem matéria, esta energia negra podia criar um Universo em expansão.

Os físicos estavam agora perante um dilema. O Universo de Einstein tinha matéria, mas não tinha movimento. O Universo de Sitter tinha movimento, mas não tinha matéria. No Universo de

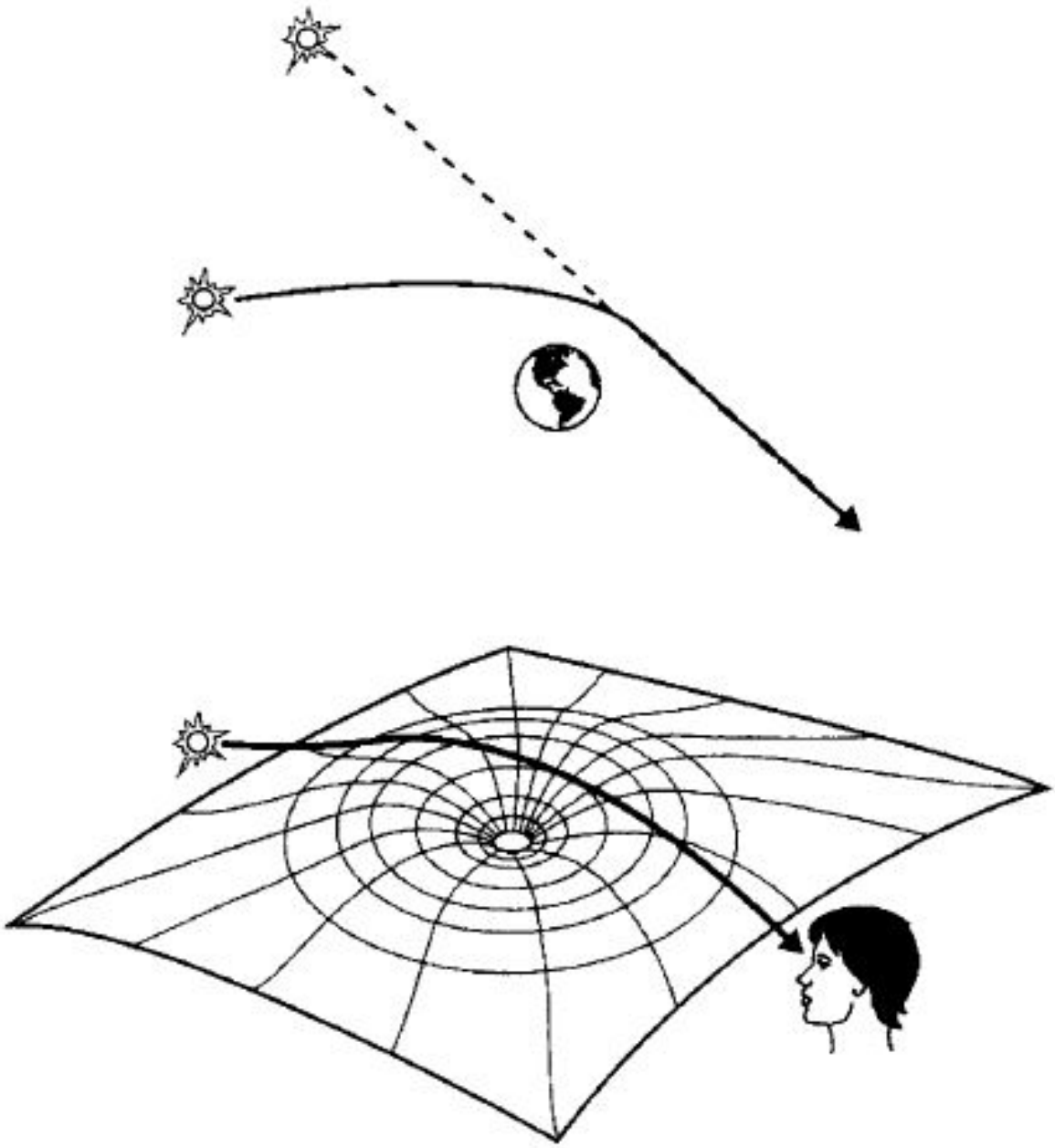
Einstein, a constante cosmológica era necessária para neutralizar a atracção da gravidade e criar um Universo estático. No Universo de de Sitter, a constante cosmológica era, por si só, suficiente para criar um Universo em expansão. Finalmente, em 1919, quando a Europa tentava reerguer-se das ruínas e da carnificina da Primeira Guerra Mundial, equipas de astrónomos de todo o mundo procuraram testar a nova teoria de Einstein. Einstein já tinha proposto que a curvatura do espaço-tempo provocada pelo Sol seria suficiente para curvar a luz das estrelas que passa na sua vizinhança. A luz das estrelas deveria curvar-se em redor do Sol de uma maneira precisa e calculável semelhante ao modo como o vidro inclina a luz. Mas, como o brilho da luz do Sol oculta as estrelas durante o dia, os cientistas teriam de esperar por um eclipse do Sol para fazer a experiência decisiva.

Um grupo liderado pelo astrofísico britânico Arthur Eddington viajou até à ilha do Príncipe, no Golfo da Guiné, na costa ocidental de África

para medir a curvatura da luz das estrelas aparentemente perto do Sol durante o próximo eclipse solar. Outra equipa, liderada por Andrew Crommelin, partiu para Sobral, no norte do Brasil. Os dados que recolheram indicavam um desvio médio da luz das estrelas de 1,79 segundos de arco, o que confirmava a previsão de Einstein de 1,74 segundos de arco (dentro do erro experimental). Por outras palavras, a luz curva-se perto do Sol. Eddington, mais tarde, proclamou que a verificação da teoria de Einstein tinha sido o maior feito da sua vida.

Em 6 de Novembro de 1919, num encontro da Royal Society e da Royal Astronomical Society em Londres, o presidente da Royal Society, J. J. Thompson, galardoado com o Prémio Nobel, declarou solenemente que este «tinha sido um dos maiores feitos da história do pensamento humano. Não se trata da descoberta de uma ilha remota, mas de todo um continente de novas ideias científicas. É a maior descoberta relacionada com

a gravitação desde que Newton enunciou os seus princípios.»[13]



Em 1919, dois grupos confirmaram a previsão de Einstein de que a luz de uma e
trela distante se curvaria quando passasse pelo Sol. Assim, a posição da estre
pareceria mover-se relativamente à sua posição normal na presença do Sol. Is
acontece porque o Sol deformou o espaço-tempo à sua volta. Assim, não é a grav
dade que «atrai»; pelo contrário, é o espaço que «empurra».

(De acordo com a lenda, Eddington foi posteriormente interrogado por um repórter: «Segundo consta, só há três pessoas no mundo que compreendem a teoria de Einstein. O senhor deve ser uma delas.» Eddington continuou em silêncio, pelo que o jornalista insistiu: «Não seja modesto, Eddington.» Este encolheu os ombros e disse: «De maneira nenhuma. Estava a interrogar-me sobre quem será a terceira pessoa.»[14]

No dia seguinte, o Times, de Londres, publicou em título: «Revolução na Ciência - Nova Teoria do Universo - Ideias de Newton Ultrapassadas.» Este título marcava o momento em que Einstein se tomou uma figura de renome mundial, um mensageiro das estrelas.

Tão importante era esta notícia e tão radical era o afastamento de Einstein em relação a Newton, que suscitou uma forte reacção, quando físicos e astrónomos notáveis condenaram a teoria. Na Universidade de Colúmbia, Charles Lane Poor, professor de mecânica celeste, encabeçou as críticas à teoria da relatividade, dizendo:

«Sinto-me como se estivesse a passear com Alice no País das Maravilhas e a tomar chá com o Chapeleiro Louco.»[15]

A razão pela qual a relatividade viola o nosso senso comum não é o facto de estar errada, mas o facto de o nosso senso comum não representar a realidade. Nós somos os seres estranhos do Universo. Habitamos uma porção rara de terra, onde as temperaturas, as densidades e as velocidades são muito baixas. No entanto, no «Universo real», as temperaturas podem ser insuportavelmente altas no centro das estrelas ou excessivamente baixas no espaço exterior e as partículas subatómicas, que voam através do espaço, geralmente deslocam-se a uma velocidade próxima da luz. Por outras palavras, o nosso senso comum evoluiu numa parte invulgar e obscura do Universo, a Terra; não surpreende, assim, que o nosso senso comum não consiga apreender o verdadeiro Universo. O problema não reside na relatividade, mas sim em impor que o nosso senso comum representa a realidade.

O FUTURO DO UNIVERSO

Embora a teoria de Einstein tivesse tido êxito na explicação de fenómenos astronómicos, como a curvatura da luz em redor do Sol e a pequena precessão da órbita do planeta Mercúrio, as suas previsões cosmológicas ainda eram confusas. As questões foram grandemente clarificadas pelo físico russo Aleksandr Friedmann, que encontrou as soluções mais gerais e realistas das equações de Einstein. Ainda hoje, são ensinadas em todos os cursos de relatividade geral. (Friedmann descobriu-as em 1922, mas morreu em 1925, e o seu trabalho foi bastante esquecido nos anos seguintes.)

Normalmente, a teoria de Einstein consiste numa série de equações extraordinariamente difíceis que, muitas vezes, só podem ser resolvidas por computador. No entanto, Friedmann admitiu que o Universo era dinâmico e apresentou duas hipóteses de simplificação (chamadas princípio cosmológico): que o Universo é isotrópico (parece o mesmo independentemente do lugar de

onde o observamos) e que o Universo é homogéneo (é uniforme, independentemente do ponto para onde nos deslocarmos).

De acordo com estas duas hipóteses simplificadoras, verificamos que estas equações colapsam. (De facto, tanto as soluções de Einstein como as de de Sitter eram casos especiais da solução mais geral de Friedmann.) Curiosamente, as suas soluções dependem apenas de três parâmetros:

1. H, que determina a taxa de expansão do Universo. (Hoje chama-se constante de Hubble, do nome do astrónomo que mediu a expansão do Universo.)

2. Ω, que mede a densidade média da matéria do Universo.

3. A, a energia associada ao espaço vazio ou energia negra.

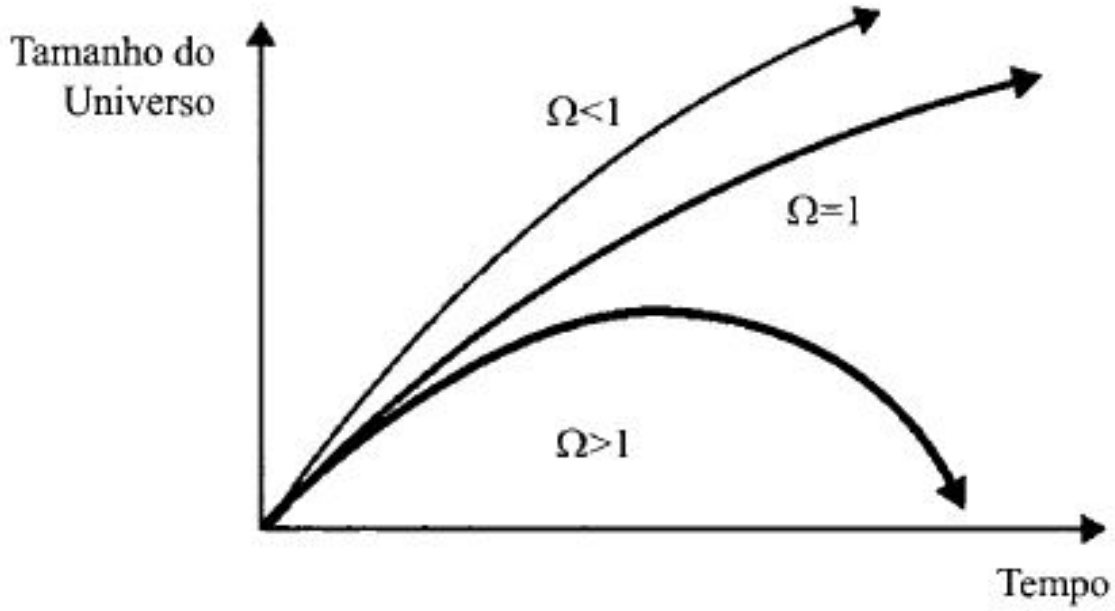
Muitos cosmólogos dedicaram toda a sua carreira à determinação do valor preciso destes três números. A subtil interacção entre estas três constantes determina a evolução futura do Universo

como um todo. Por exemplo, uma vez que a gravidade atrai, a densidade do Universo Ω actua como uma espécie de travão, para desacelerar a expansão do Universo, anulando alguns dos efeitos de expansão do big bang. Suponha que atiramos uma pedra ao ar. Normalmente, a gravidade é suficientemente forte para inverter a direcção da pedra, que volta a cair na Terra. Contudo, se arremessarmos a pedra com velocidade suficiente, ela poderá escapar à gravidade da Terra e voar para sempre no exterior. Como uma pedra, o Universo originariamente expandiu-se devido ao big bang, mas a matéria, ou Ω, actua como um travão na expansão do Universo, do mesmo modo que a gravidade da Terra actua como um travão na pedra.

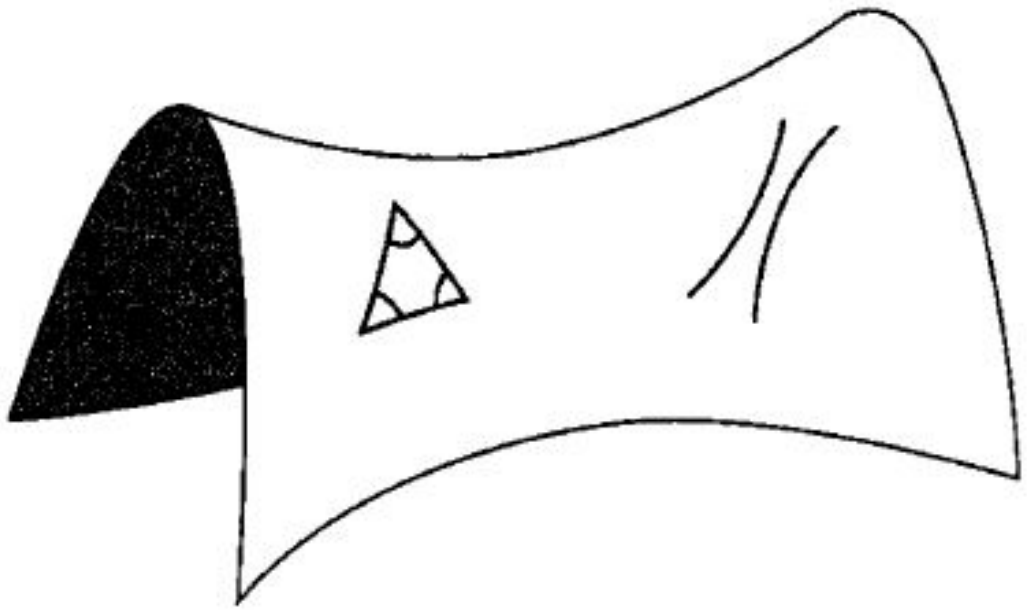
Por agora, admita-se que A, a energia associada ao espaço vazio, é igual a zero. Seja Ω a densidade do Universo a dividir pela densidade crítica. (A densidade critica do Universo é aproximadamente 10 átomos de hidrogénio por metro cúbico. Para apreciar quão vazio é o espaço, a

densidade crítica do Universo corresponde a encontrar um único átomo de hidrogénio num volume correspondente a três bolas de basquete, em média).

Se Ω for menor que 1, os cientistas concluirão que no Universo não há matéria suficiente para anular a expansão original do big bang (tal como, ao atirar uma pedra ao ar, se a massa da Terra não for suficientemente grande, a pedra não voltará à Terra.) Consequentemente, o Universo expandir-se-á para sempre, acabando por mergulhar num big freeze quando as temperaturas se aproximarem do zero absoluto. (Este é o princípio subjacente a um frigorífico ou a um sistema de ar condicionado. Quando o gás se expande, arrefece. No sistema de ar condicionado, por exemplo, o gás que circula num tubo expande-se arrefecendo o tubo e a sala.)[16]



A evolução do Universo tem três histórias possíveis. Se Ω for menor que 1 (e Λ
zero), o Universo expandir-se-á para sempre até ao *big freeze*. Se Ω for maior qu
1, o Universo sofrerá o colapso até ao *big crunch*. Se Ω for igual a 1, o Univers
será plano e expandir-se-á para sempre. (Os dados do satélite WMAP mostra
que Ω + Λ é igual a 1, o que significa que o Universo é plano. Esta conclusão é co
sistente com a teoria inflacionária.)



Se Ω for menor que 1 (e Λ for zero), então o Universo será aberto e a sua cu
vatura será negativa, como uma sela. As linhas paralelas nunca se encontram e
soma dos ângulos internos dos triângulos é inferior a 180 graus.

Se Ω for maior que 1, então haverá no Universo matéria e gravidade suficientes para anular definitivamente a expansão cósmica. Em resultado disso, a expansão do Universo acaba por parar e o Universo começará a contrair-se. (Tal como a pedra atirada ao ar, se a massa da Terra for suficientemente grande, a pedra acabará por atingir uma altura máxima e depois volta a cair na Terra.) As temperaturas começarão a subir, à medida que as estrelas e as galáxias se precipitarem umas contra as outras. (Quem já encheu o pneu de uma bicicleta sabe que a compressão do

gás gera calor. O trabalho mecânico ao bombear gás é convertido em calor.) Do mesmo modo, a compressão do Universo transforma a energia gravitacional em calor. Finalmente, as temperaturas tomar-se-ão tão altas que toda a vida se extinguirá à medida que o Universo caminha para um abrasador big crunch. (O astrónomo Ken Crowell chama a este processo «da Criação à Cremação»).

Uma terceira possibilidade é que Ω seja exactamente 1; por outras palavras, a densidade do Universo é igual à densidade crítica e, nesse caso, o Universo flutua entre os dois extremos, mas ainda se expandirá para sempre. (Este é, como veremos, o cenário preferido pela representação inflacionária).

E, finalmente, há a possibilidade de o Universo, em consequência de um big crunch, poder reemergir num novo big bang. Esta teoria é conhecida por teoria do Universo oscilante.

Friedmann mostrou que cada um destes cenários, por sua vez, determina a curvatura do

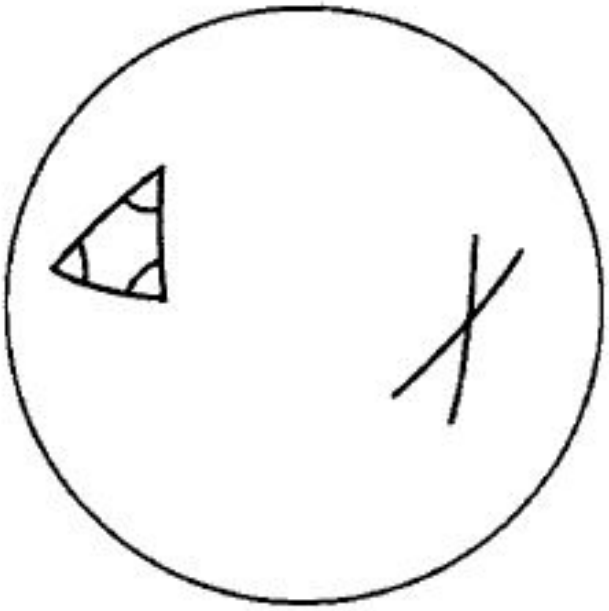
espaço-tempo. Se Ω for inferior a 1 e o Universo se expandir para sempre, Friedmann mostrou que tanto o tempo como o espaço serão infinitos. Diz-se que o Universo é «aberto», isto é, infinito no espaço e no tempo. Quando Friedmann calculou a curvatura deste Universo, descobriu que era negativa. (É como a superficie de um selim ou de uma trompa. Se um escaravelho vivesse na superficie desta superficie, acharia que as linhas paralelas nunca se encontravam e que os ângulos internos de um triângulo somavam menos de 180 graus.)

Se Ω for maior que 1, então o Universo acabará por se contrair num big crunch. O tempo e o espaço são finitos. Friedmann descobriu que a curvatura deste Universo é positiva (como uma esfera). Finalmente, se Ω for igual a 1, então o espaço será plano e o tempo e o espaço não terão limites.)

Friedmann não só forneceu a primeira abordagem compreensível das equações cosmológicas de Einstein, como também fez a conjectura mais

realista acerca do Juízo Final, o destino último do Universo - se ele acabará num bigfreeze, se explodirá num big crunch ou se oscilará eternamente. A resposta depende de parâmetros cruciais: a densidade do Universo e a energia do vácuo.

Mas a representação de Friedmann deixa uma questão em aberto. Se o Universo está em expansão, tal significa que ele pode ter tido um começo. A teoria de Einstein nada disse sobre o instante desse começo. O que faltava era o momento da criação, o big bang. E três cientistas acabaram por nos dar uma imagem mais convincente do big bang.



Se Ω for maior que 1, então o Universo será fechado e a sua curvatura será pos
tiva, como uma esfera. As linhas paralelas encontram-se sempre e os ângulos
um triângulo somam mais de 180 graus.

CAPÍTULO TRÊS
O Big Bang

O Universo não é só mais estranho do que nós supomos é mais estranho do que podemos supor.

J. B. S. Haldane

O que nós, seres humanos

procuramos na história da criação é uma maneira de ter acesso a um mundo que nos abra ao transcendente, que nos informe e, ao mesmo tempo, nos forme

dentro dele. É isso que as pessoas querem. É isso que a alma procura.
Joseph Campbell

A CAPA DA REVISTA TIME DE 6 DE MARÇO DE 1995, que exibe a grande galáxia espiral M 100, anunciava «A cosmologia está num caos.» A cosmologia estava a entrar num caos, porque os últimos dados do telescópio espacial Hubble pareciam indicar que o Universo era mais jovem do que a sua estrela mais velha, o que é cientificamente impossível. Os dados faziam crer que o Universo tinha entre 8 e 12 mil

milhões de anos de idade, quando se pensava que a estrela mais velha tinha 14 mil milhões de anos de idade. «Ninguém pode ser mais velho do que a sua mãe», gracejava Christopher Impey, da Universidade do Arizona.

Mas, lidas as entrelinhas, compreendemos que a teoria do big bang é muito razoável. A prova que refutava a teoria do big bang baseava-se numa única galáxia, a M l OO, o que não é um método científico muito correcto. As deficiências eram, como o artigo reconhecia, «demasiado grandes para permitirem levar a cabo a viagem às estrelas». Com base nos dados do telescópio espacial Hubble, a idade do Universo não podia ser calculada com uma precisão superior a 10% ou 20%.

A questão que levanto é que a teoria do big bang não se baseia na especulação, mas em centenas de dados provenientes de várias fontes, que convergem todas para sustentar uma teoria única e auto coerente. (Em ciência, nem todas as teorias são concebidas da mesma maneira. Embora

qualquer pessoa seja livre de propor a sua própria versão da criação do Universo, é preciso que ela explique a centena de dados particulares que reunimos e que são coerentes com a teoria do big bang).

As três grandes «provas» da teoria do big bang baseiam-se no trabalho de três imortais cientistas que se distinguiram nas respectivas áreas: Edwin Hubble, George Gamow e Fred Hoyle.

EDWIN HUBBLE, ASTRÓNOMO ARISTOCRATA

Embora as bases teóricas da cosmologia tenham sido lançadas por Einstein, a cosmologia moderna, baseada na observação, foi quase toda ela criada por Edwin Hubble, porventura o astrónomo mais importante do século XX.

Nascido em 1889 nos bosques de Marshfield, no Missouri, Hubble era um modesto rapaz do campo que alimentou grandes ambições. O seu pai, advogado e agente de seguros, incentivou-o a seguir a carreira das leis. Hubble, no entanto,

estava encantado com os livros de Júlio Veme e fascinado pelas estrelas. Devorava clássicos de ficção científica, como Vinte Mil Léguas Submarinas e Da Terra à Lua. Também foi um excelente pugilista; os promotores queriam que se tomasse profissional e lutasse com o campeão mundial de pesos pesados, Jack Johnson.

Ganhou uma prestigiosa bolsa para estudar leis em Oxford, onde começou a adoptar os maneirismos da melhor sociedade britânica. (Começou a usar fatos de tweed, a fumar cachimbo, a adoptar uma acentuada pronúncia britânica e a falar de cicatrizes de duelos, que, ao que se dizia, infligia a si próprio.)

Contudo, Hubble era infeliz. O que, na realidade, o atraía não eram os delitos nem os processos jurídicos; a sua paixão, que lhe vinha desde a infância, eram as estrelas. Encheu-se de coragem, desistiu do curso e foi para a Universidade de Chicago e para o Observatório do Monte Wilson, na Califórnia, que albergava então o maior telescópio do mundo, com um espelho de

cem polegadas. Por ter começado a sua carreira tão tarde, Hubble era um homem cheio de pressa. Para compensar o tempo perdido, quis responder rapidamente a alguns dos mistérios mais profundos e mais antigos da Astronomia.

Na década de 1920, o Universo era um lugar confortável; acreditava-se que era constituído apenas pela Via Láctea, a faixa de luz em forma de nuvem que atravessa o céu nocturno, parecendo-se com leite derramado. (A palavra «galáxia», de facto, deriva do vocábulo grego que significa «leite».) Em 1920, teve lugar o «Grande Debate» entre os astrónomos Harlow Shapley, de Harvard, e Herber Curtis, do Lick Observatory. Intitulado «A Escala do Universo», discutia o tamanho da Via Láctea e do próprio Universo. Shapley defendia que a Via Láctea era todo o Universo visível. Curtis acreditava que, para além da Via Láctea, havia uma «nebulosa espiral», com estranhos mas belos tufos de neblina rodopiante. (Já na primeira década do século XVIII, o filósofo Emanuel Kant

especulara que estas nebulosas espirais eram «universos-ilhas»).

O debate despertou a curiosidade de Hubble. O problema essencial era determinar a distância às estrelas e que era (e continua a ser) uma das tarefas mais diabólicas da Astronomia. Uma estrela brilhante que esteja muito distante pode parecer idêntica a uma estrela menos brilhante que esteja mais próxima. Esta confusão esteve na origem de numerosas contendas e grandes controvérsias em Astronomia. Para resolver o problema, Hubble precisava de uma «vela padrão», um objecto que emite a mesma quantidade de luz em qualquer parte do Universo. (De facto, uma grande parte do esforço da cosmologia desse tempo consistiu em tentar encontrar e calibrar essas velas padrão. A maior parte dos grandes debates de Astronomia centram-se no grau de fiabilidade destas velas padrão.) Se tivermos uma candela padrão que ilumine uniformemente o Universo com a mesma intensidade, então uma estrela que fosse quatro vezes menos brilhante do

que o normal estaria apenas duas vezes mais distante da Terra.

Uma noite, quando observava uma fotografia da nebulosa espiral Andrómeda, Hubble teve um momento de «eureka». O que ele descobriu no interior de Andrómeda foi uma estrela de um tipo de estrelas variáveis (chamadas Cefeides) que tinha sido estudado por Henrietta Leavitt. Sabia-se que estas estrelas pulsavam no decurso do tempo, e que a duração de um ciclo completo estava relacionada com o seu brilho. Quanto mais brilhante fosse a estrela, maior era o seu ciclo de pulsação. Assim, medindo o comprimento desse ciclo, seria possível calibrar o seu brilho e determinar a sua distância. Hubble descobriu que durava 31,4 dias, o que, com grande surpresa sua, correspondia a uma distância de um milhão de anos-luz, muito longe da Via Láctea. (O disco luminoso da Via Láctea tem apenas 100 mil anos-luz de diâmetro. Cálculos posteriores mostrariam que Hubble tinha, de facto, subestimado a

verdadeira distância da Andrómeda, que é de cerca de dois milhões de anos-luz).

Quando levou a cabo a mesma experiência noutras nebulosas espirais, Hubble descobriu que também estavam fora da Via Láctea. Por outras palavras, ficou claro para ele que estas nebulosas espirais eram universos-ilhas inteiros, por direito próprio - que a Via Láctea era apenas uma galáxia num firmamento de galáxias.

De um momento para o outro, o tamanho do Universo aumentou muito. De uma única galáxia, o Universo passou a ser subitamente povoado por milhões, talvez milhares de milhões, de galáxias irmãs. Um Universo de 100 mil anos-luz de diâmetro transformou-se subitamente num Universo de milhares de milhões de anos-luz de diâmetro.

Esta descoberta só por si teria assegurado a Hubble um lugar no panteão dos astrónomos. Mas não se deu por satisfeito. Estava determinado a descobrir a distância às galáxias, mas também queria calcular a sua velocidade.

O EFEITO DE DOPPLER E A EXPANSÃO DO UNIVERSO

Hubble sabia que o caminho mais simples para calcular a velocidade de objectos distantes consistia em analisar as alterações do som ou da luz que eles emitem, também conhecidas por efeito de Doppler. Os carros emitem ruído quando passam por nós na estrada. A polícia usa o efeito de Doppler para obter informação sobre a velocidade; lança sobre o carro um feixe de laser, que se reflecte para o carro da polícia. Analisando o desvio da frequência da luz do laser, a polícia pode calcular a velocidade.

Se uma estrela, por exemplo, se está a mover na nossa direcção, as ondas de luz que ela emite são comprimidas como um acordeão. Consequentemente, o seu comprimento de onda torna-se mais curto. Uma estrela amarela parecerá ligeiramente azulada (porque a cor azul tem um comprimento de onda mais curto do que a amarela). De modo análogo, se uma estrela se afasta de nós, as suas ondas de luz são alongadas,

dando-lhe um comprimento de onda maior, pelo que uma estrela amarela parece ligeiramente avermelhada. Quanto maior for a distorção, maior será a velocidade da estrela. Assim, se conhecermos o desvio da frequência da luz das estrelas, poderemos determinar a sua velocidade.

Em 1912, o astrónomo Vesto Slipher descobriu que as galáxias se estavam a afastar da Terra a grande velocidade. O Universo não só era muito mais vasto do que se esperara, como também se expandia muito rapidamente. Para além das pequenas flutuações, descobriu que as galáxias exibiam um desvio para o vermelho, causado pelo próprio afastamento, e não um desvio para o azul. A descoberta de Slipher mostrou que o Universo era, de facto, dinâmico e não estático, como Newton e Einstein haviam presumido.

Durante os séculos que os cientistas estudaram os paradoxos de Bentley e de Olbers, ninguém tinha considerado seriamente a possibilidade de o Universo se estar a expandir. Em 1928, Hubble fez uma viagem decisiva à

Holanda, para se encontrar com Willem de Sitter. O que intrigava Hubble era a previsão de Sitter de que, quanto mais distante está a galáxia, mais rapidamente ela se move. Imagine um balão, com galáxias desenhadas na sua superfície, que se expande. À medida que o balão se expande, as galáxias que estão próximas umas das outras afastam-se relativamente devagar. Quanto mais próximas estão umas das outras, mais lentamente se distanciam. Mas as galáxias mais distantes, no balão, afastam-se mais rapidamente.

De Sitter pediu a Hubble que observasse este efeito nos seus dados, o que se podia verificar analisando o desvio para o vermelho das galáxias. Quanto maior for o desvio para o vermelho de uma galáxia, mais depressa ela se afastará e, por conseguinte, mais distante se encontrará. (De acordo com a teoria de Einstein, o desvio para o vermelho de uma galáxia não era, tecnicamente falando, causado pela velocidade com que a galáxia se afastava da Terra; era causado pela expansão do próprio espaço entre a galáxia e a

Terra. A origem do desvio para o vermelho é a compressão ou alongamento da luz emanada de uma galáxia distante devido à expansão do espaço).

A LEI DE HUBBLE

Quando Hubble voltou à Califórnia, tendo em mente o conselho de de Sitter, procurou as provas deste efeito. Analisando vinte e quatro galáxias, descobriu que, quanto mais distante a galáxia estivesse, mais depressa ela se afastaria da Terra, tal como as equações de Einstein haviam previsto. A razão entre as duas (velocidade a dividir pela distância) era aproximadamente uma constante. Depressa se tomou conhecida como constante de Hubble, ou H. É talvez a constante mais importante de toda a cosmologia, porque a constante de Hubble indica a taxa a que o Universo se está a expandir.

Se o Universo se está a expandir, ponderaram os cientistas, então talvez tenha tido um começo. O inverso da constante de Hubble, de facto, dá-nos um cálculo aproximado da idade do

Universo. Imaginemos uma gravação vídeo de uma explosão. No vídeo, vemos os fragmentos serem projectados do local da explosão e podemos calcular a velocidade da expansão. Mas isto também significa que podemos fazer retroceder as imagens até todos os fragmentos se juntarem num único ponto. Uma vez conhecida a velocidade da expansão, podemos retroceder no tempo e calcular o momento em que a explosão ocorreu.

(A estimativa original de Hubble atribuiu ao Universo a idade aproximada de 1,8 mil milhões de anos, o que causou grandes dores de cabeça a gerações de cosmólogos, porque este valor era inferior à idade das estrelas. Anos depois, os astrónomos perceberam que os erros na medição da luz proveniente das Cefeides da galáxia Andrómeda tinham atribuído à constante de Hubble um valor incorrecto. Com efeito, as «guerras de Hubble» referentes ao valor preciso da constante de Hubble reacenderam-se nos

últimos setenta anos. Hoje, a imagem mais definitiva é a que provém do satélite WMAP).

Em 1931, Einstein, numa visita triunfal ao Observatório do Monte Wilson, encontrou-se com Hubble. Reconhecendo que o Universo estava, de facto, em expansão, considerou a constante cosmológica «o seu maior erro». (Contudo, um erro de Einstein até é suficiente para abalar os fundamentos da cosmologia, como veremos quando analisarmos os dados do satélite WMAP, em capítulos seguintes.) Quando a mulher de Einstein visitou o enorme observatório, disseram-lhe que aquele telescópio gigantesco estava a determinar a estrutura definitiva do Universo. A senhora Einstein respondeu despreocupadamente: «O meu marido fez isso nas costas de um envelope velho.»

O BIG BANG

O sacerdote belga, Georges Lemaitre, ao tomar conhecimento da teoria de Einstein, ficou fascinado com a ideia de a teoria conduzir logicamente a um Universo em expansão, o que, por

conseguinte, significava que o Universo teve um começo. Como os gases aquecem quando são comprimidos, ele compreendeu que o Universo, no início do tempo, deve ter sido fantasticamente quente. Em 1927, afirmou que o Universo deve ter começado como um «superátomo» de temperatura e densidade incríveis, que subitamente explodiu, dando origem ao Universo em expansão de Hubble. Escreveu: «a evolução do mundo pode ser comparada com um espectáculo de fogo-de-artificio que terminou: alguns fragmentos vermelhos, cinzas e fumo. Neste planeta de cinzas arrefecidas, assistimos ao desaparecimento lento dos sóis e tentamos relembrar o brilho desvanecido da origem dos mundos.»[1]

(A primeira pessoa a propor esta ideia de um «superátomo» no começo do tempo foi, mais uma vez, Edgar Allan Poe que argumentou que a matéria atrai outras formas de matéria e, por isso, no começo do tempo deve ter havido uma concentração cósmica de átomos.)

Lemaitre haveria de participar em conferências de Física e de importunar outros cientistas com a sua ideia. Ouvi-lo-iam com bom humor e depois esqueceriam calmamente as suas ideias. Arthur Eddigton, um dos principais físicos do seu tempo, disse: «Como cientista, não acredito que a presente ordem das coisas tenha começado com um bang... A ideia de que esta actual ordem da natureza tenha começado abruptamente repugna-me.»2

Mas, ao longo dos anos, a sua persistência venceu gradualmente a resistência da comunidade dos físicos. O cientista que se tomaria o mais importante porta-voz e divulgador da teoria do big bang haveria de apresentar a prova mais convincente desta teoria.

GEORGE GAMOW, O BRINCALHÃO CÓSMICO

Embora Hubble fosse o aristocrata mais sofisticado da Astronomia, o seu trabalho foi continuado por uma outra figura ímpar, George Gamow. Gamow foi, em muitos aspectos, o seu

oposto: um brincalhão, um cartoonista, conhecido pelas suas travessuras e pelos seus vinte livros sobre ciência, muitos deles para jovens. Muitas gerações de físicos (em que eu próprio me incluo) aprenderam através dos seus livros de entretenimento e de informação sobre Física e Cosmologia. Num tempo em que a relatividade e a teoria quântica estavam a revolucionar a ciência e a sociedade, os seus livros distinguiam-se, pois eram os únicos credíveis sobre ciência avançada destinados a um público jovem.

Enquanto os cientistas menores muitas vezes são estéreis em ideias e se contentam em trabalhar com montanhas de dados enfadonhos, Gamow foi um dos génios criativos do seu tempo, um polímata cujas ideias haviam de mudar o curso da física nuclear, da cosmologia e até mesmo da investigação do ADN. Talvez não seja por acaso que a autobiografia de James Watson, que descobriu, com Francis Crick, o segredo da molécula do ADN, se intitulou Genes, Gamow, and Girls. Como o seu colega Edward

Teller, recordou que «90% das teorias de Gamow estavam erradas e era fácil reconhecê-lo. Mas ele não se importava. Era uma dessas pessoas que não se orgulhavam particularmente de nenhuma das suas criações. Lançava uma ideia e depois gracejava sobre ela.»3 Mas os restantes 10% das suas ideias continuariam a revolucionar todo o panorama da ciência.

Gamow nasceu em Odessa, na Rússia, em 1904, durante as primeiras revoltas sociais desse país. Gamow relembra que «as aulas foram muitas vezes suspensas, quando Odessa era bombardeada[4] por um navio de guerra inimigo, ou quando as forças expedicionárias gregas, francesas ou inglesas atacavam à baioneta, as principais ruas da cidade, as entrincheiradas forças russas, brancas, vermelhas ou mesmo verdes, ou quando as forças russas de várias cores lutavam umas contra as outras.

O ponto de viragem na sua vida aconteceu quando, um dia, foi à igreja e, às escondidas, levou para casa um pão da comunhão, depois da

missa. Observando-o ao microscópio viu que não havia nenhuma diferença entre esse pão, que representa o corpo de Jesus Cristo, e o pão vulgar. Concluiu: «Penso que foi esta experiência que fez de mim um cientista.» [5]

Estudou na universidade de Leninegrado e foi aluno do físico Aleksandr Friedmann. Mais tarde, na Universidade de Copenhaga, encontrou muitos dos gigantes da Física, como Niels Bohr. (Em 1932, ele e a sua mulher tentaram sem sucesso fugir da União Soviética navegando numa jangada da Crimeia para a Turquia. Mais tarde, conseguiu fugir, quando foi a uma conferência de Física em Bruxelas, o que lhe mereceu uma sentença de morte por parte da União Soviética).

Gamow era conhecido por enviar poemas humorísticos aos seus amigos. A maior parte não foi publicada, mas um desses poemas dá conta da ansiedade que os cosmólogos sentem perante a enormidade dos números astronómicos quando a infinidade se toma óbvia.

There was a young fellow of Trinity

Who took the square root of infinity
But the number of digits
Gave him the jidgits;
He dropped Math and took up Divinity[6]

Na década de 1920, na Rússia, Gamow obteve o seu primeiro grande êxito quando resolveu o mistério do declínio radioactivo. Graças ao trabalho de Madame Curie e de outros, os cientistas sabiam que o átomo de urânio era instável e emitia radiação na forma de raios alfa (núcleos de um átomo de hélio). Mas, de acordo com a mecânica de Newton, a misteriosa força nuclear que mantém o núcleo coeso devia originar uma barreira que impedisse essa saída. Como era possível?

Gamow (e R. W. Gumey e E. U. Condon) percebeu que o declínio radioactivo era possível, porque na teoria quântica o princípio da incerteza significava que ninguém podia saber com exactidão a localização e a velocidade de uma

partícula; por conseguinte, havia uma pequena probabilidade de ela poder «abrir um túnel» e penetrar directamente através de uma barreira. (Hoje, esta ideia de construir um túnel está no centro de toda a Física e serve para explicar as propriedades de dispositivos electrónicos, dos buracos negros e do big bang. O próprio Universo pode ter sido criado através de uma passagem de túnel).

Por analogia, Gamow imaginou um prisioneiro encerrado numa prisão de paredes muito altas. No mundo newtoniano clássico, é impossível escapar da prisão. Mas, no estranho mundo da teoria quântica, não se sabe exactamente onde se encontra o prisioneiro num dado momento nem a sua velocidade. Se o prisioneiro bater muitas vezes com violência contra as paredes, é possível calcular a probabilidade de ele um dia poder passar através das paredes, desafiando o senso comum e a mecânica newtoniana. Há uma probabilidade finita, calculável, de ele ser encontrado fora das paredes da prisão. Para objectos

grandes como prisioneiros, seria preciso esperar mais do que o tempo de vida do Universo para que o milagroso evento ocorresse. Mas com partículas alfa e com partículas subatómicas isso acontece sempre, porque estas partículas chocam repetidamente contra as paredes do núcleo com grandes quantidades de energia. Muitos acham que Gamow deveria ter sido galardoado com o prémio Nobel por este trabalho de importância vital.

Na década de 1940, o interesse de Gamow começou a deslocarse da relatividade para a cosmologia que lhe pareceu um terreno rico ainda por desbravar. Tudo o que se sabia sobre o Universo nesse tempo era que o céu era escuro e que o Universo estava em expansão. A única ideia de Gamow era encontrar provas ou «fósseis» que mostrassem que houve um big bang há milhares de milhões de anos. Se não o conseguiu foi porque a cosmologia não é uma ciência experimental no verdadeiro sentido da palavra. Não é possível fazer experiências no big

bang. A cosmologia assemelha-se mais a uma história policial, a uma ciência de observação, onde se procuram «indícios» ou provas na cena do crime, do que a uma ciência experimental que permite a realização de experiências precisas.

A COZINHA NUCLEAR DO UNIVERSO

O segundo grande contributo de Gamow para a ciência foi a descoberta de reacções nucleares que deram origem aos elementos mais leves que vemos no Universo. Ele gostava de lhe chamar a «cozinha pré-histórica do Universo», onde todos os elementos do Universo foram originariamente cozinhados pelo calor intenso do big bang. Hoje, este processo que determina a abundância relativa dos elementos no Universo chama-se «nucleossíntese». A ideia de Gamow era que havia uma cadeia inquebrável, que começava com hidrogénio, que podia ser construída pela simples junção sucessiva de mais partículas ao átomo de hidrogénio. Todos os elementos químicos da tabela periódica de Mendeleev, acreditava ele, podiam ter sido criados pelo calor do big bang.

Gamow e os seus alunos pensavam que, devido ao facto de o Universo ser um conjunto incrivelmente quente de neutrões e de protões no instante da criação, então a fusão talvez tivesse ocorrido quando os átomos de hidrogénio se fundiram uns com os outros para produzir átomos de hélio. Como numa bomba de hidrogénio ou numa estrela, as temperaturas são tão altas que os protões de um átomo de hidrogénio são impelidos uns contra os outros até se fundirem originando núcleos de hélio. As colisões subsequentes entre hidrogénio e hélio produziriam, de acordo com este cenário, o seguinte conjunto de elementos, incluindo o lítio e o berílio. Gamow admitiu que os elementos mais pesados podiam ser construídos sequencialmente acrescentando cada vez mais partículas subatómicas aos núcleos - por outras palavras, que as centenas de elementos que constituem o Universo visível eram «cozinhados» no calor abrasador da bola de fogo original.

De uma maneira típica, Gamow esboçou as linhas gerais deste ambicioso programa e deixou o seu aluno de doutoramento Ralph Alpher desenvolver os pormenores. Quando o artigo foi concluído, ele não foi capaz de resistir a uma brincadeira. Pôs o nome do físico Hans Bethe no artigo, sem o seu consentimento e, por isso, o artigo ficou conhecido por alfa-beta-gama.

O que Gamow descobriu foi que o big bang era, de facto, suficientemente quente para criar o hélio, que perfaz cerca de 25% da massa do Universo. Recuando no tempo, uma «prova» do big bang pode ser encontrada olhando simplesmente para muitas das estrelas e das galáxias actuais e compreendendo que são constituídas por cerca de 75% de hidrogénio, 25% de hélio e alguns outros elementos químicos simples. (Como disse David Spergel, astrofísico de Princeton: «Sempre que se enche um balão, estamos a colocar átomos [alguns dos quais] se formaram nos primeiros minutos do big bang»).[8]

Contudo, Gamow também encontrou problemas de cálculo. A sua teoria aplicava-se bem aos elementos muito leves. Mas os elementos com 5 e 8 neutrões e protões são extremamente instáveis e, por isso, não podem servir de «ponte» para a criação de elementos com um número superior de protões e de neutrões. A ponte servia apenas para núcleos de 5 e 8 partículas. O facto de o Universo ser composto por elementos pesados com muito mais de 5 e 8 neutrões e protões de número atómico 5 e 8, não deixou esclarecer o mistério cósmico. O programa de Gamow não se podia aplicar para além dos números 5 e 8, pelo que o problema continuou por resolver durante anos, invalidando a sua intenção de mostrar que todos os elementos do Universo tinham sido criados no momento do big bang.

RADIAÇÃO DE FUNDO DE MICRO-ONDAS

Ao mesmo tempo, outra ideia o intrigava: se o big bang era tão incrivelmente quente, talvez

alguma da energia residual existisse hoje no Universo. Em caso afirmativo, haveria um «registo fóssil» do próprio big bang. Talvez o big bang tivesse sido tão colossal que os seus restos ainda preenchessem o Universo na forma de uma névoa de radiação uniforme.

Em 1946, Gamow admitiu que o big bang começou com um núcleo muito quente de neutrões. Era uma hipótese razoável, uma vez que se sabia muito pouco sobre as partículas subatómicas, a não ser o electrão, o protão e o neutrão. Se fosse possível calcular a temperatura dessa bola de neutrões, também seria possível calcular a quantidade e a natureza da radiação que ela emitia. Dois anos depois, Gamow mostrou que a radiação emitida por este núcleo superquente podia actuar como «radiação do corpo negro». Este é um tipo muito específico de radiação emitida por um objecto quente; absorve toda a luz que sobre ele incide, reflectindo a radiação de uma forma característica. Por exemplo, o Sol, a lava fundida, o carvão incandescente e o barro quente

num forno apresentam uma cor de fogo amarelo-avermelhada e emitem radiação do corpo negro. (A radiação do corpo negro foi descoberta pelo famoso ceramista Thomas Wedgwood em 1792. Verificou que, quando a matéria bruta era cozida no forno, mudava da cor vermelha para amarelo e para branco, à medida que a temperatura subia).

Isto é importante, porque, uma vez conhecida a cor de um objecto quente, também se conhece aproximadamente a sua temperatura e vice-versa; a fórmula precisa referente à temperatura de um objecto quente e à radiação que ele emite foi obtida pela primeira vez por Max Planck em 1900, o que levou ao nascimento da teoria quântica. (Este é, de facto, um dos processos através dos quais os cientistas determinam a temperatura do Sol. O Sol irradia sobretudo luz amarela, que, por sua vez, corresponde a uma temperatura de um corpo negro de aproximadamente 6.000 K. Deste modo, sabemos qual é a temperatura da atmosfera exterior do Sol. De modo similar, a estrela gigante vermelha Betelgeuse tem uma

temperatura de superfície de 3000 K, a temperatura do corpo negro que corresponde à cor vermelha, que também é emitida por um pedaço de carvão incandescente.)

No seu artigo de 1948, Gamow foi o primeiro a sugerir que a radiação do big bang podia ter uma característica específica - a radiação do corpo negro. A característica mais importante da radiação do corpo negro é a sua temperatura. Seguidamente, Gamow teve de calcular a temperatura actual da radiação do corpo negro.

Ralph Alpher, aluno de doutoramento de Gamow, e outro estudante, Robert Herman, tentaram completar os cálculos de Gamow, estimando a temperatura. Gamow escreveu: «Se extrapolarmos desde os primeiros dias do Universo até ao presente, descobrimos que, durante os eões que passaram, o Universo deve ter arrefecido até 5 graus acima do zero absoluto.»[9]

Em 1948, Alpher e Herman publicaram um artigo que apresentava argumentos detalhados que explicavam porque razão a temperatura da

luz remanescente do big bang devia ser hoje de 5 graus acima do zero absoluto (a sua estimativa estava notavelmente próxima da temperatura de 2,7 graus, que sabemos hoje ser a temperatura correcta). Esta radiação, que identificaram como estando na gama das micro-ondas, deveria existir ainda no Universo actual, admitiram eles, preenchendo o cosmos com uma luz uniforme.

(O raciocínio é o que se segue. Durante anos após o big bang, a temperatura do Universo era tão quente que, cada vez que um átomo se formasse, ele seria feito em pedaços; por isso, havia muitos electrões livres que podiam dispersar a luz. Consequentemente, o Universo era opaco em vez de ser transparente. Qualquer feixe de luz que se movesse nesse Universo superquente seria absorvido depois de percorrer uma curta distância, pelo que o Universo parecia nublado. No entanto, 380 000 anos depois, a temperatura desceu para 3000 graus. Abaixo desta temperatura, os átomos deixaram de ser despedaçados pelas colisões. Consequentemente,

podiam formar-se átomos estáveis e os feixes de luz podiam agora viajar durante anos-luz sem serem absorvidos. Assim, pela primeira vez, o espaço vazio tornou-se transparente. Esta radiação, que já não era instantaneamente absorvida logo que era criada, está ainda hoje espalhada pelo Universo.)

Quando Alpher e Herman mostraram o seu cálculo final da temperatura do Universo a Gamow, este ficou desapontado. A temperatura era tão baixa que seria extremamente difícil medi-la. Gamow levou um ano a aceitar que os pormenores do cálculo estivessem correctos. Mas tinha poucas esperanças de conseguir medir um campo de radiação tão fraco. Os instrumentos disponíveis na década de 1940 eram desesperadamente inadequados para medir este eco tão vago. (Num cálculo posterior, partindo de uma hipótese incorrecta, Gamow subiu a temperatura da radiação para 50 graus.)

Fizeram uma série de conferências para divulgar o seu trabalho. Mas, infelizmente, o seu

resultado profético foi ignorado. Alpher disse: «Gastámos muita energia fazendo conferências para divulgar o nosso trabalho. Ninguém reagiu; ninguém disse que a temperatura podia ser medida ... E, assim, de 1948 até 1955 não voltámos ao assunto.»[10]

Porém Gamow, sem desanimar, continuou a defender, através dos seus livros e conferências, a teoria do big bang. No entanto, acabou por encontrar um adversário feroz, muito parecido com ele. Enquanto Gamow seduzia as audiências com as suas impiedosas graças e as suas chistosas observações, Fred Hoyle conquistava-as com a sua inteligência ímpar e com a sua audácia agressiva.

FRED HOYLE, ESPÍRITO DE CONTRADIÇÃO

A radiação de fundo de micro-ondas dá-nos a «segunda prova» do big bang. Mas o homem que menos se esperava que fornecesse a terceira grande prova do big bang através da nucleossíntese foi Fred Hoyle, que, ironicamente,

gastou quase toda a sua vida profissional tentando refutar a teoria do big bang.

Hoyle era a personificação de um académico desajeitado, com um notável espírito de contradição, que ousou desafiar a ciência convencional num estilo por vezes aguerrido. Enquanto Hubble era o último aristocrata, que imitava os maneirismos de um dignitário de Oxford, e Gamow era o brincalhão e o polímata, que fascinava as audiências com as suas sátiras, os seus versos e as suas brincadeiras, o estilo de Hoyle era o de um bulldog agressivo; parecia estranhamente deslocado nos antigos átrios da Universidade de Cambridge, assombrados pela figura de Isaac Newton.

Hoyle nasceu em 1915 no norte de Inglaterra; era filho de um comerciante de têxteis, numa região dominada pela indústria de lanifícios. Em criança, interessou-se pela ciência; a rádio tinha acabado de chegar à aldeia e, recorda ele, vinte ou trinta pessoas equiparam os seus lares com receptores de rádio. Mas o acontecimento decisivo

da sua vida foi a oferta de um telescópio pelos seus pais.

Hoyle tinha, desde pequeno, um estilo combativo. Aos 3 anos dominava a tabuada da multiplicação e, então, o professor pediu-lhe que aprendesse a numeração romana. «Como podia alguém ser tão tolo para escrever VIII em vez de 8?» recordava com desdém. Mas, quando lhe disseram que a lei o exigia e que ele tinha de obedecer às regras da escola, escreveu: «Concluí que, infelizmente, nasci num mundo dominado por um monstro violento chamado 'lei', que é ao mesmo tempo poderoso e completamente estúpido.»[11]

O seu desdém pela autoridade também foi cimentado por um desentendimento com uma professora, que disse aos alunos que uma determinada flor tinha cinco pétalas. Para provar que ela estava errada, ele trouxe a flor com seis pétalas. Por causa desse impudente acto de insubordinação[12], ela deu-lhe um forte puxão na orelha

esquerda. (Hoyle, mais tarde, ficou surdo desse ouvido).

TEORIA DE ESTADO ESTACIONÁRIO

Na década de 1940, Hoyle não estava apaixonado pela teoria do big bang. Uma das deficiências da teoria era que Hubble, devido aos erros na medição da luz proveniente das galáxias distantes, tinha calculado mal a idade do Universo em 1,8 mil milhões de anos. Os geólogos defendiam que a Terra e o sistema solar tinham provavelmente muitos milhares de milhões de anos de idade. Como podia o Universo ser mais jovem do que os seus planetas?

Com os colegas Thomas Gold e Hermann Bondi, Hoyle resolveu construir uma teoria oposta à do big bang. Consta que a sua teoria, denominada teoria do estado estacionário, se inspirou num filme de fantasmas de 1945 chamado Na Solidão da Noite, com Michael Redgrave. O filme consiste numa série de histórias de fantasmas, mas na cena final há uma reviravolta admirável: o filme termina tal como começou.

Assim, o filme é circular, sem princípio nem fim. Teria sido o enredo deste filme que, supostamente, inspirou os três cientistas a arquitectarem uma teoria do Universo que também não tinha princípio nem fim. (Gold, mais tarde, esclareceu esta história. Recorda ele: «Penso que vimos o filme alguns meses antes e depois eu propus a teoria do estado estacionário. Disse-lhes 'Não é um tanto parecido com Na Solidão da Noite?' ») [13]

Neste modelo, as regiões do Universo estavam, de facto, em expansão, mas a matéria nova estava constantemente a ser criada a partir do nada, pelo que a densidade do Universo se mantinha inalterável. Embora ele não explique pormenorizadamente o modo como a matéria emergia misteriosamente de nenhures, a teoria atraiu imediatamente um grupo de adeptos que combateram os teóricos do big bang. A Hoyle não parecia lógico que um cataclismo abrasador pudesse aparecer de nenhures para fazer dispersar as galáxias em todas as direcções; preferia a

criação regular de massa a partir do nada. Por outras palavras, o Universo era intemporal. Não tinha começo nem fim. Existia apenas.

(A controvérsia estado estacionário versus big bang era semelhante à controvérsia que afectou a geologia e outras ciências. Em geologia, era permanente o debate entre uniformitarismo [a crença de que a Terra tinha sido formada por alterações graduais no passado] e o catastrofismo [que advogava que as alterações se tinham processado através de eventos violentos]. Embora o uniformitarismo ainda explique grande parte das características geológicas e ecológicas da Terra, ninguém pode hoje negar o impacto dos cometas e dos asteróides, que provocaram extinções em massa ou a separação e o movimento dos continentes através da deriva tectónica).

LIÇÕES NA BBC

Hoyle nunca fugiu a uma boa luta. Em 1949, Hoyle e Gamow foram convidados pela British Broadcasting Corporation (BBC) a debater a origem do Universo. Durante a transmissão, Hoyle

fez história quando desferiu um violento golpe na teoria rival. Afirmou fatídicamente: «Essas teorias baseavam-se na hipótese de que toda a matéria do Universo tinha sido criada num big bang, num determinado momento do passado remoto.» O nome pegou. A teoria rival era agora oficialmente chamada «O big bang» pelo seu maior adversário. (Mais tarde, alegou que não tinha querido ser depreciativo. Confessou: «Não inventei a expressão com intenção depreciativa, mas sim para chocar.»)[14]

(Ao longo dos anos, os defensores do big bang tentaram heroicamente mudar-lhe o nome. Não estavam satisfeitos com a conotação comum, quase vulgar, do nome e com o facto de ele ter sido inventado pelo seu maior adversário. Os puristas estavam particularmente aborrecidos por também acharem que a designação era, realmente, incorrecta. Em primeiro lugar, o big bang não era «big» (grande) (uma vez que tinha tido origem numa pequena singularidade muito menor do que um átomo) e, em segundo lugar, não

havia «bang» (uma vez que no espaço exterior não existe ar.) Em Agosto de 1993, a revista Sky and Telescope financiou um concurso para dar um outro nome à teoria do big bang. Foram recebidas 13.000 entradas, mas os juízes não conseguiram encontrar um nome melhor do que o original.)

O que cimentou a fama de Hoyle ao longo de toda uma geração foi a sua famosa série de programas de ciência na rádio BBC. Na década de 1950, a BBC transmitiu um conjunto de programas sobre ciência aos sábados à noite. Contudo, quando o convidado original cancelou o contrato, os produtores viram-se obrigados a procurar um substituto. Contactaram Hoyle, que aceitou o convite. Investigaram então o seu ficheiro, onde havia uma nota que dizia: «NÃO RECORRER A ESTE HOMEM.»

Por acaso, ignoraram este terrível aviso de um produtor anterior e foram transmitidas cinco lições fascinantes. Estas transmissões clássicas da BBC hipnotizaram o país e, em parte, inspiraram

a geração seguinte de astrónomos. O astrónomo Wallace Sargent recorda o impacto que estes programas tiveram nele: «Quando eu tinha 15 anos, ouvi as lições de Fred Hoyle na BBC, intituladas 'A Natureza do Universo'. A ideia de se saber qual era a temperatura e a densidade no centro do Sol surgiu como uma onda de choque. Aos 15 anos, isto parecia estar para além do conhecimento. Não eram só os números espantosos, mas o simples facto de os podermos conhecer.»[15]

NUCLEOSSÍNTESE NAS ESTRELAS

Hoyle, que desdenhava a especulação meramente teórica, quis testar a sua teoria do estado estacionário. Gostava da ideia de que os elementos do Universo tinham sido cozinhados não no big bang, como Gamow acreditava, mas no centro das estrelas. Se cem ou mais elementos químicos tinham sido todos criados pelo intenso calor das estrelas, então não era necessário nenhum big bang.

Num conjunto de artigos seminais publicados nos finais da década de 1940 e nos começos da década de 1950, Hoyle e os seus colegas explicaram pormenorizadamente como as reacções nucleares no núcleo de uma estrela, e não o big bang, podiam aumentar o número de protões e de neutrões dos núcleos de hidrogénio e de hélio, até poderem criar todos os elementos pesados, pelo menos até ao ferro. (Resolveram o mistério da criação dos elementos com número de massa superior a 5, que tinha embaraçado Gamow. Num golpe de génio, Hoyle percebeu que, se houvesse uma forma instável de carbono até então desconhecida criada a partir de três núcleos de hélio, podia durar o tempo suficiente, para actuar como uma «ponte», permitindo a criação de elementos de número atómico superior. No núcleo das estrelas, esta nova forma instável de carbono podia durar tempo suficiente, para que, acrescentando sucessivamente mais neutrões e protões, fosse possível criar elementos com número de massa superior a 5 e 8. Quando esta forma instável de

carbono foi realmente encontrada, tomou-se possível demonstrar, de forma brilhante, que a nucleossíntese podia ter ocorrido nas estrelas e não no big bang. Hoyle desenvolveu então um extenso programa de computador que podia determinar, quase desde os primórdios do Universo, a abundância relativa dos elementos que vemos na natureza.)

Mas mesmo o intenso calor das estrelas não é suficiente para «cozinham elementos mais pesados do que o ferro na tabela periódica, como o cobre, o níquel, o zinco e o urânio, etc. (É extremamente difícil obter energia fundindo elementos mais pesados do que o ferro, por várias razões, incluindo a repulsão dos protões no núcleo e o défice de energia de ligação.) Para estes elementos pesados, é necessário um forno maior - a explosão de estrelas maciças ou supernovas. Uma vez que podem ser atingidos triliões de graus no espasmo da morte final de uma estrela gigante, quando ela entra em colapso de forma violenta, há energia suficiente para

«cozinham os elementos com peso atómico superior ao do ferro. Isto significa que a maior parte dos elementos mais pesados do que o ferro apenas podem ter surgido das atmosferas explosivas de estrelas ou de supernovas.

Em 1957, Hoyle, com Margaret e Geoffrey Burbidge e William Fowler publicaram o artigo talvez mais decisivo que relata pormenorizadamente os passos necessários para construir os elementos do Universo e prever a sua abundância. Os seus argumentos foram tão precisos, tão poderosos e convincentes que até mesmo Gamow teve de reconhecer que Hoyle tinha apresentado a mais impressionante representação da nucleossíntese. Gamow, de maneira típica, até inventou a seguinte passagem escrita em estilo bíblico. No começo, quando Deus estava a criar os elementos:

Na excitação da contagem, Ele esqueceu-se do número de massa cinco e, assim, naturalmente, os elementos mais pesados não se podiam ter formado. Deus ficou muito desapontado e

quis voltar a contrair o Universo e começar tudo desde o princípio. Mas seria tudo muito simples. Sendo Todo-Poderoso, Deus decidiu corrigir o Seu erro de uma maneira impossível. E Deus disse: «Que se faça Hoyle.» E assim foi feito. E Deus olhou para Hoyle... E disse-lhe que fizesse elementos pesados como quisesse. E Hoyle decidiu fazer elementos pesados nas estrelas e espalhá-los através das explosões das supernovas. 16

PROVAS CONTRA O ESTADO ESTACIONÁRIO

Contudo, ao longo das décadas, começaram a acumular-se lentamente provas contra o Universo do estado estacionário. Hoyle viu que lutava numa batalha perdida. Nesta teoria, uma vez que o Universo não evoluía, mas estava continuamente a criar matéria nova, o Universo primitivo seria muito semelhante ao Universo actual. As galáxias que hoje vemos seriam muito semelhantes às galáxias de há milhares de milhões de

anos. A teoria do estado estacionário podia então ser contestada, se houvesse sinais de alterações evolutivas drásticas no decurso de milhares de milhões de anos.

Na década de 1960, foram descobertas no espaço exterior fontes misteriosas de enorme potência, chamadas «quasares» ou objectos quase estelares. (O nome era tão atractivo que uma série de TV o adoptou). Os quasares geravam enormes quantidades de energia e sofriam grandes desvios para o vermelho, o que significava que estavam a milhares de milhões de anos-luz de distância e brilhavam nos céus, quando o Universo era ainda muito jovem. (Hoje, os astrónomos acreditam que são enormes galáxias jovens, cuja fonte de energia são buracos negros supermaciços.) Hoje não temos provas de quaisquer quasares, mas, de acordo com a teoria do estado estacionário, eles ainda existem. Foram desaparecendo ao longo de milhares de milhões de anos.

A teoria de Hoyle colocaria ainda outro problema. Os cientistas também perceberam que a

grande quantidade de hélio existente no Universo não se ajustava às previsões do Universo do estado estacionário. O hélio, que é o gás que enche os balões das crianças, é realmente muito raro na Terra, mas é o segundo elemento mais abundante do Universo após o hidrogénio. É, de facto, tão raro que foi pela primeira vez encontrado no Sol e não na Terra. (Em 1868, os cientistas analisaram a passagem da luz do Sol através de um prisma. A luz deflectida dispersava-se no usual arco-íris de cores e linhas espectrais, mas os cientistas também detectaram ténues linhas espectrais causadas por um elemento misterioso até então nunca visto. Pensaram, erradamente, tratar-se de um metal daqueles cujo nome costuma terminar em «-io» como lítio ou urânio. Deram a este misterioso metal o nome de «hélio», da palavra que, em grego, significa sol. Finalmente, em 1895, o hélio foi encontrado na Terra em depósitos de urânio e os cientistas descobriram com embaraço que era um gás e não um metal. Assim,

o hélio, descoberto no Sol, nasceu com uma designação incorrecta.)

Se o hélio primordial foi sobretudo criado nas estrelas, como Hoyle acreditava, então devia ser muito raro e devia encontrar-se perto do núcleo das estrelas. Mas todos os dados astronómicos mostravam que o hélio era, na realidade, muito abundante, constituindo cerca de 45% da massa dos átomos do Universo. Descobriu-se que se encontrava uniformemente distribuído no Universo (como Gamow pensava).

Hoje, sabemos que tanto Gamow como Hoyle tinham em parte razão relativamente à nucleossíntese. Gamow inicialmente pensava que todos os elementos químicos eram partículas libertadas em explosões nucleares ou resíduos do big bang. Mas esta teoria falhou em consequência do hiato dos núcleos de números de massa 5 e 8. Hoyle pensou que podia contestar a teoria do big bang mostrando que as estrelas «cozinham» todos os elementos sem qualquer necessidade de recorrer ao big bang. Mas esta teoria não

conseguiu explicar a grande abundância de hélio que sabemos existir no Universo.

Na essência, Gamow e Hoyle deram-nos uma representação complementar da nucleossíntese. Os elementos muito leves de números de massa até 5 e 8 foram, de facto, criados pelo big bang. Hoje, em resultado das descobertas da Física, sabemos que o big bang produziu a maior parte do deutério, do hélio-3, do hélio-4 e do lítio-7 que vemos na natureza. Mas os elementos mais pesados até ao ferro foram cozinhados sobretudo no núcleo das estrelas, como Hoyle acreditava. Se acrescentarmos os elementos mais pesados do que o ferro (tais como o cobre, o zinco e o ouro) que resultaram da explosão de uma supernova, então teremos a explicação completa da abundância relativa de todos os elementos do Universo. (Qualquer teoria que se oponha à cosmologia moderna terá uma tarefa formidável: explicar a abundância relativa dos cem elementos do Universo e os seus numerosos isótopos).

COMO NASCERAM AS ESTRELAS

Uma consequência deste caloroso debate sobre a nucleossíntese é o facto de nos ter dado uma descrição bastante completa do ciclo de vida das estrelas. Uma estrela típica como o nosso Sol começa a sua vida como uma enorme bola de gás hidrogénio difuso, chamada pratoestrela, e contrai-se gradualmente devido à gravidade. Quando entra em colapso, começa a girar rapidamente (o que, muitas vezes, leva à formação de um sistema binário onde duas estrelas se perseguem uma à outra em órbitas elípticas, ou à formação de planetas no plano de rotação da estrela). O núcleo da estrela também aquece muito até atingir cerca de 1O milhões de graus ou mais, quando o hidrogénio se funde para dar hélio.

Depois de a estrela se incendiar, chama-se estrela de sequência principal e pode arder durante cerca de 10 mil milhões de anos transformando lentamente o seu núcleo de hidrogénio em hélio residual. O nosso Sol está actualmente a meio caminho deste processo. Quando acabar de queimar hidrogénio, a nossa estrela começará a

queimar hélio, até se expandir muito e atingir o tamanho da órbita de Marte, transformando-se numa «gigante vermelha». Depois da reserva de hélio se esgotar, as camadas exteriores da estrela dissipar-se-ão, deixando o núcleo, uma estrela «anã branca» com um tamanho semelhante ao da Terra. Nesta estrela anã branca, podem ser criados os elementos mais pesados até ao ferro na tabela periódica de elementos. As estrelas mais pequenas como o nosso Sol morrerão no espaço como pedaços de matéria nuclear inerte nas anãs brancas.

Mas, nas estrelas gigantes, talvez com dez a quarenta vezes a massa do nosso Sol, o processo de fusão avança muito mais rapidamente. Quando a estrela se transforma numa supergigante vermelha, o seu núcleo fundirá rapidamente os elementos mais leves, pelo que se parece com uma estrela híbrida, uma anã branca dentro de uma gigante vermelha. Quando o processo de fusão atingir a fase em que o elemento ferro é criado, não poderá ser extraída mais

energia no processo de fusão, pelo que a fornalha nuclear, após milhares de milhões de anos, finalmente acaba. Neste ponto, a estrela entra em colapso abruptamente, criando enormes pressões que realmente impelem os electrões para os núcleos. (A densidade pode exceder 400 mil milhões de vezes a densidade da água.) O que faz com que a temperatura atinja triliões de graus. A energia gravitacional comprimida neste minúsculo objecto explode numa supernova. O calor intenso deste processo faz com que a fusão recomece e são sintetizados os elementos da tabela periódica mais pesados do que o ferro.

A supergigante vermelha Betelgeuse, por exemplo, que pode ser facilmente vista na constelação de Órion, é instável; pode explodir em qualquer momento como uma supemova, cuspindo grandes quantidades de raios gama e de raios X para o espaço em volta. Quando isso acontecer, esta supernova será visível durante o dia e à noite poderá emitir mais claridade do que a Lua. (Pensava-se outrora que tinha sido a

energia titânica libertada por uma supemova que tinha destruído os dinossauros há 65 milhões de anos. Uma supemova a cerca de 50 anosluz de distância podia, de facto, pôr fim a toda a vida na Terra. Felizmente, as estrelas gigantes Spica e Betelgeuse estão a 260 e 430 anos-luz de distância, respectivamente, demasiado distantes para causar danos sérios na Terra quando explodirem. Mas alguns cientistas acreditam que uma extinção menor de criaturas marinhas há 2 milhões de anos foi causada pela explosão de uma supemova de uma estrela a 120 anosluz de distância.)

Isto também significa que o nosso Sol não é a verdadeira «mãe» da Terra. Embora muitas pessoas na Terra tenham adorado o Sol como um deus que deu nascimento à Terra, esta ideia é apenas parcialmente correcta. Embora a Terra tenha originalmente sido criada a partir do Sol (como parte da superfície elíptica de destroços e de poeira que orbitou o Sol há 4,5 mil milhões de anos), o nosso Sol não é suficientemente quente para fundir o hidrogénio em hélio. Isto significa

que a nossa verdadeira «mãe» Sol era, na realidade, uma estrela sem nome ou um conjunto de estrelas que morreram há milhares de milhões de anos numa supemova, que espalhou nas proximidades nebulosas com os elementos mais pesados do que o ferro, que constituem o nosso corpo. Literalmente, o corpo humano é constituído por poeira proveniente das estrelas que morreram há milhares de milhões de anos.

Após a explosão de uma supemova, há um pequeno resíduo chamado estrela de neutrões, constituído por matéria nuclear sólida comprimida ao tamanho de Manhattan, cerca de 30 quilómetros. (As estrelas de neutrões foram pela primeira vez previstas pelo astrónomo suíço Fritz Zwicky em 1933, mas pareciam tão fantásticas que, durante décadas, foram ignoradas pelos cientistas.) Como uma estrela de neutrões emite radiação de forma irregular ao mesmo tempo que gira rapidamente, ela parece um farol que emite luz em rotação. Vista da Terra, a estrela de neutrões parece pulsar e, por isso, se chama pulsar.

As estrelas muito grandes, com massa superior a 40 massas solares, quando sofrem uma explosão de tipo supemova, podem deixar uma estrela de neutrões com massa maior do que três massas solares. A gravidade desta estrela de neutrões é tão grande que pode anular qualquer força repulsiva entre os neutrões e a estrela acabará por entrar em colapso originando o objecto porventura mais exótico do Universo, um buraco negro, de que falarei no capítulo 5.

EXCREMENTOS DE AVES E O BIG BANG

O golpe final no coração da teoria do estado estacionário foi uma descoberta de Amo Penzias e Robert Wilson em 1965. Trabalhando no Bell Laboratory, no Holmdell Horn Radio Telescope de 20 pés, em New Jersey, procuravam sinais de rádio provenientes dos céus quando, sem querer, registaram um barulho estático. Pensaram que talvez fosse uma aberração, porque parecia vir uniformemente de todas as direcções e não de uma única estrela ou galáxia. Julgando que o

ruído estático podia ser devido à sujidade, limparam cuidadosamente aquilo que Penzias descrevia como «uma cobertura branca de matéria dieléctrica» (normalmente conhecida como excrementos de aves) que cobria a abertura do radiotelescópio. Mas o ruído estático parecia ainda maior. Sem o saberem, tinham encontrado acidentalmente o fundo de micro-ondas previsto pelo grupo de Gamow em 1948.

Agora a história cosmológica assemelha-se um pouco aos guardas de Keystone, em que há três grupos que procuram uma resposta sem saberem nada uns dos outros. Por um lado, Gamow, Alpher e Hermann tinham estabelecido a teoria subjacente ao fundo de micro-ondas, em 1948; tinham previsto que a temperatura da radiação de micro-ondas era de cinco graus acima do zero absoluto. Contudo, desistiram de tentar medir a radiação de fundo do espaço, porque os instrumentos eram até então pouco sensíveis para a detectarem. Em 1965, Penzias e Wilson descobriram esta radiação do corpo negro, mas

não a reconheceram. Entretanto, um terceiro grupo, liderado por Robert Dicke da Universidade de Princeton, tinha redescoberto independentemente a teoria de Gamow e dos seus colegas e procurava activamente a radiação de fundo, mas o seu equipamento era demasiado primitivo para a detectar.

Esta situação cómica terminou quando um amigo comum, o astrónomo Bernard Burke, pôs Penzias ao corrente do trabalho de Robert Dicke. Quando os dois grupos finalmente se encontraram, tomou-se claro que Penzias e Wilson tinham detectado sinais provenientes do próprio big bang. Por esta importante descoberta, Penzias e Wilson ganharam o Nobel em 1978.

Ao reconhecerem os factos, Hoyle e Gamow, os dois proponentes mais destacados das teorias opostas, tiveram um encontro decisivo num Cadillac, em 1956, que podia ter mudado o curso da cosmologia. «Lembro-me de George me ter conduzido num Cadillac branco», escreveu Hoyle. Gamow manifestou a Hoyle a sua convicção de

que o big bang tinha deixado uma luz remanescente que ainda hoje podia ser vista. Contudo, os últimos números de Gamow situavam a temperatura dessa luz em 50 graus. Então, Hoyle fez a Gamow uma revelação surpreendente. Hoyle estava ao corrente de um artigo obscuro escrito em 1941 por Andrew McKellar, que mostrava que a temperatura do espaço exterior não podia exceder 3 graus. A temperaturas mais elevadas podem ocorrer novas reacções químicas que criariam mais radicais excitados de carbono-hidrogénio (CH) e de carbono-nitrogénio (CN) no espaço exterior. Analisando os espectros destas substâncias, é possível determinar a temperatura do espaço exterior. De facto, ele descobriu que a densidade das moléculas de CN que detectou no espaço indiciava uma temperatura de cerca de 2,3 K. Por outras palavras, desconhecida de Gamow, a radiação de fundo de 2,7 K já tinha sido indirectamente detectada em 1941.

Hoyle recordou: «Ou devido ao grande conforto do Cadillac ou porque George queria uma

temperatura superior a 3 K, ao passo que eu queria uma temperatura de zero graus, perdemos a oportunidade de reconhecer a descoberta feita nove anos depois por Amo Penzias e Bob Wilson.»[17] Se o grupo de Gamow não tivesse cometido um erro numérico e tivesse apresentado uma temperatura mais baixa, ou se Hoyle não tivesse sido tão hostil à teoria do big bang, a história porventura teria sido escrita de outra maneira.

REFLEXOS PESSOAIS DO BIG BANG

A descoberta do fundo de micro-ondas por Penzias e Wilson teve um efeito decisivo nas carreiras de Gamow e de Hoyle. Para Hoyle o trabalho de Penzias e Wilson foi uma experiência quase mortal. Finalmente, na revista Nature, em 1965, Hoyle acabou por admitir oficialmente a derrota, mencionando o fundo de micro-ondas e a abundância de hélio como razões para abandonar a sua teoria do estado estacionário. Mas o que realmente o perturbou foi o facto de a sua teoria

do estado estacionário ter perdido o seu poder preditivo: «Quase toda a gente acredita que a existência do fundo de micro-ondas matou a cosmologia do 'estado estacionário', mas o que realmente a matou foi a psicologia ... Aqui, no fundo de micro-ondas, estava um importante fenómeno que não é predito... durante muitos anos, isto foi para mim um golpe terrível.»[18] (Hoyle, mais tarde, voltou atrás e procurou improvisar novas variações da teoria do estado estacionário do Universo, mas essas variações eram cada vez menos plausíveis.)

Infelizmente, a questão da prioridade gerou algum desconforto a Gamow que, se lermos nas entrelinhas, não estava nada satisfeito com o facto de o seu trabalho e o trabalho de Alpher e de Hermann serem raramente, ou mesmo nunca, citados. Sempre cortês, nunca deixou transparecer os seus sentimentos, mas, em cartas particulares, escreveu que era injusto que os físicos e os historiadores ignorassem completamente o seu trabalho.

Embora o trabalho de Penzias e Wilson tivesse derrubado a teoria do estado estacionário e tivesse ajudado a dar ao big bang uma base experimental sólida, houve grandes falhas na nossa compreensão da estrutura do Universo em expansão. Num Universo de Friedmann, por exemplo, é preciso conhecer o valor de n, a distribuição média da matéria no Universo, para compreender a sua evolução. Contudo, a determinação de n tomou-se muito problemática quando se compreendeu que a maior parte do Universo não era constituída por átomos e moléculas conhecidos, mas por uma nova substância estranha chamada «matéria negra» que excedia em massa a matéria comum por um factor de dez. Uma vez mais, os especialistas nesta matéria não foram tomados a sério pelo resto da comunidade astronómica.

ÓMEGA E MATÉRIA NEGRA

A história da matéria negra é talvez um dos capítulos mais estranhos da cosmologia. Na década de 1930, o astrónomo suíço dissidente

Fritz Zwicky do Cal Tech observou que as galáxias do aglomerado de galáxias Coma se moviam, como se esperava, sob o efeito da gravidade de Newton. Estas galáxias, descobriu ele, moviam-se tão rapidamente que podiam dispersar-se e o aglomerado podia dissolver-se, de acordo com as leis do movimento de Newton. A única possibilidade, pensou, de manter junto o aglomerado e não permitir que se dispersasse, era se ele tivesse centenas de vezes mais matéria do que a que podia ser observada através do telescópio. Ou as leis de Newton eram de algum modo incorrectas a distâncias galácticas ou então havia uma grande quantidade de matéria invisível no aglomerado Coma, que o mantinha unido.

Esta foi a primeira indicação histórica de que qualquer coisa estava terrivelmente errada na distribuição da matéria no Universo. Infelizmente, os astrónomos rejeitaram ou ignoraram universalmente o trabalho pioneiro de Zwicky, por várias razões.

Em primeiro lugar, os astrónomos tinham relutância em acreditar que a gravidade newtoniana, que tinha dominado a Física durante vários séculos, pudesse estar incorrecta. Havia um precedente para problemas desta natureza em Astronomia. Quando a órbita de Úrano foi analisada no século XIX, descobriu-se que era inconstante - ela divergia, embora muito pouco, das equações de Isaac Newton. Assim, ou Newton estava errado ou devia haver um novo planeta cuja gravidade actuava sobre Úrano. A última interpretação estava correcta e Neptuno foi encontrado à primeira tentativa em 1846 analisando o local previsto pelas leis de Newton.

Em segundo lugar, havia a questão da personalidade de Zwicky e o modo como os astrónomos tratavam os «estranhos». Zwicky era um visionário muitas vezes ridicularizado ou ignorado. Em 1933, com Walter Baade, inventou a palavra «supernova» e previu correctamente que uma pequena estrela de neutrões, com cerca de 22 quilómetros de diâmetro, seria tudo o que restava

de uma estrela que explodiu. A ideia era tão incrivelmente estranha que foi satirizada num cartoon do Los Angeles Times, em 19 de Janeiro de 1934. Zwicky estava furioso com uma pequena elite de astrónomos que, pensava ele, queria evitar o seu reconhecimento, que se apoderava das suas ideias e não lhe disponibilizavam tempo nos telescópios de 100 a 200 polegadas. (Pouco antes de morrer, em 1974, Zwicky publicou um catálogo das galáxias que abria com o título «A Reminder to the High Priests of American Astronomy and to their Sycophants». O ensaio contém uma crítica mordaz à natureza clubista e fechada da elite da Astronomia que tentava calar os dissidentes como ele. «Parece que os sicofantas e os ladrões descarados andam hoje à solta na Astronomia americana, em particular, para se apropriarem das invenções dos lobos solitários e inconformistas,»[19] escreveu. Também apelidou estes indivíduos de «bastardos esféricos», porque eles «são bastardos de qualquer parte que se olhe para eles.» Estava furioso por ter sido ignorado

quando o Prémio Nobel foi atribuído a outro pela descoberta da estrela de neutrões.)[20]

Em 1962, o curioso problema do movimento galáctico foi redescoberto pela astrónoma Vera Rubin, que estudou a rotação da Via Láctea e se confrontou com idêntico problema; também ela foi acolhida com indiferença pela comunidade da Astronomia. Normalmente, quanto mais distante do Sol um planeta está, mais lentamente se desloca. Quanto mais perto ele está, mais depressa se move. O planeta Mercúrio deriva o seu nome do deus da velocidade, porque está tão perto do Sol e a velocidade de Plutão é dez vezes menor que a de Mercúrio, porque é o planeta mais distante do Sol. Contudo, quando Vera Rubin analisou as estrelas azuis da nossa galáxia, descobriu que as estrelas giravam em tomo do centro da galáxia à mesma velocidade, independentemente da sua distância ao centro dela (o que se chama curva de rotação plana), violando, assim, os preceitos da mecânica newtoniana. De facto, ela descobriu que a Via Láctea girava tão rapidamente que,

segundo as leis naturais, deveria desagregar-se. Mas a galáxia tem-se mantido completamente estável desde há cerca de dez mil milhões de anos; o facto de a curva de rotação ser plana constituía um mistério. Para evitar que a galáxia se desintegrasse, ela teria de ser dez vezes mais pesada do que os cientistas imaginavam. Aparentemente, faltava 90% da massa da Via Láctea!

Vera Rubin foi ignorada, em parte, por ser mulher. Com alguma pena, ela recorda que, quando se candidatou ao Swarthmore College como investigadora, casualmente disse ao entrevistador que gostava de pintar. Ele então perguntou-lhe: «Já pensou numa carreira em que possa pintar objectos astronómicos?» Ela recorda: «Esta frase tornou-se proverbial na minha família: durante muitos anos, quando alguma coisa corria mal a alguém, dizíamos: 'Já pensou numa carreira em que possa pintar objectos astronómicos?'»[21] Quando ela contou ao seu antigo professor de Física que tinha sido admitida em Vassar, ele respondeu-lhe: «Estará bem, desde

que esteja longe da ciência.» Mais tarde, ela recordaria: «Foi preciso uma grande auto-estima para ouvir coisas como estas sem ficar arrasada.»

Depois da licenciatura, candidatou-se e foi aceite em Harvard, mas recusou o lugar, porque se casou e seguiu o marido, professor de Química, para Comell. (Recebeu de Harvard uma carta com as seguintes palavras manuscritas ao fundo da página: «Diabos levem as mulheres. Sempre que apanho uma, ela vai-se embora e casa-se.») Recentemente, participou numa conferência de Astronomia no Japão, onde era a única mulher. «Eu, na realidade, não podia contar essa história durante muito tempo sem chorar, porque numa geração ... afinal, poucas coisas mudam>, confessou ela.

Apesar de tudo, o seu trabalho cuidadoso e o trabalho de outros começaram lentamente a convencer a comunidade astronómica do problema da massa que faltava. Em 1978, Rubin e os seus colegas examinaram onze galáxias espirais; todas elas giravam demasiado rapidamente para se

manterem juntas, de acordo com as leis de Newton. Nesse mesmo ano, o radio astrônomo holandês Albert Bosma publicou a mais completa análise de dezenas de galáxias espirais; quase todas elas exibiam o mesmo comportamento anómalo. Isto, finalmente, pareceu convencer a comunidade astronómica de que a matéria negra existia de facto.

A solução mais simples deste difícil problema era admitir que as galáxias eram rodeadas por um halo invisível que continha dez vezes mais matéria do que as próprias est relas. Desde então, têm sido desenvolvidos muitos outros meios mais sofisticados para medir a presença desta matéria invisível. Um dos mais impressionantes consiste em medir a distorção da luz das estrelas quando ela passa através da matéria invisível. Tal como as lentes dos óculos, a matéria negra pode curvar a luz (devido à sua enorme massa e à sua força gravitacional). Recentemente, analisando cuidadosamente as fotografias do telescópio espacial Hubble com um computador, os cientistas

conseguiram elaborar mapas da distribuição da matéria negra no Universo.

Tem-se travado uma luta feroz para descobrir a constituição da matéria negra. Alguns cientistas pensam que pode consistir em matéria comum, mas muito escura (isto é, feita de estrelas anãs castanhas, estrelas de neutrões e buracos negros quase invisíveis). Esses objectos amontoam-se como «matéria bariónica», isto é, matéria constituída por bariões conhecidos (como neutrões e protões). Colectivamente, chamam-se MACHOs (abreviatura de Objectos de Halo Maciço Compacto).

Outros pensam que a matéria negra pode consistir em matéria não bariónica muito quente, como os neutrinos (chamada matéria negra quente). No entanto, os neutrinos movem-se tão rapidamente que não podem ser responsáveis pela maior parte da acumulação de matéria negra e de galáxias que vemos na natureza. Outros ainda pensam que a matéria negra é constituída por um tipo completamente novo de matéria,

chamada «matéria negra fria» ou WIMPS (Partículas Maciças de Interacção Fraca), que são as principais candidatas à melhor explicação da matéria negra.

O SATÉLITE COBE

Usando um telescópio comum, instrumento imprescindível da Astronomia desde o tempo de Galileu, não era possível resolver o problema da matéria negra. A Astronomia tinha feito grandes progressos usando os instrumentos ópticos padrão localizados na Terra. Contudo, na década de 1990, começou a desenvolver-se uma nova geração de instrumentos que usavam a mais moderna tecnologia de satélites, lasers e computadores que revolucionaram completamente a face da cosmologia.

Um dos primeiros frutos desta revolução foi o satélite COBE (Cosmic Background Explorer), lançado em Novembro de 1989. Embora o trabalho original de Penzias e Wilson confirmasse alguns dados pontuais consistentes com o big bang, o satélite COBE mediu dados que

coincidiam totalmente com a previsão da radiação do corpo negro feita por Gamow e pelos seus colegas, em 1948.

Em 1990, num encontro da American Astronomical Society, uma audiência de 1.500 cientistas rompeu numa súbita e estrondosa ovação de pé, quando foram expostos num gráfico os resultados do COBE, que mostravam uma concordância quase absoluta com um fundo de micro-ondas com uma temperatura de 2,728 K.

O astrónomo de Princeton Jeremiah P. Ostriker observou: «Quando os fósseis foram encontrados nas rochas, a origem das espécies ficou completamente clara. Bem, o COBE descobriu os fósseis [do Universo].»[22]

No entanto, os gráficos do COBE eram muito mais vagos. Por exemplo, os cientistas queriam analisar «manchas de calor» ou flutuações na radiação de fundo cósmico, que deviam ter cerca de um grau de diâmetro no céu. Mas os instrumentos do COBE apenas podiam detectar flutuações com 7 ou mais graus de diâmetro; não

eram suficientemente sensíveis para detectar essas pequenas «manchas de calor. Os cientistas foram obrigados a esperar pelos resultados do satélite WMAP, a lançar no fim do século, que eles esperavam que viesse a esclarecer muitas questões e mistérios.

CAPÍTULO QUATRO
Inflação e Universos Paralelos

Nada pode vir do nada.
Lucrécio

Admito que o nosso Universo tenha aparecido de nenhures há cerca de 1010 anos ... Proponho modestar

que o nosso Universo é simplesmente uma das coisas que só acontece de tempos a tempos.

Edward Tryon

O Universo é o último almoço grátis.

Alan Guth

NO CLÁSSICO DE FICÇÃO CIENTÍFICA TAU ZERO de Poul Anderson, uma nave espacial chamada Leonora Christine é enviada numa missão às estrelas vizinhas. Transportando cinquenta pessoas, a nave pode atingir velocidades próximas da velocidade da luz ao viajar para um novo sistema estelar. O mais importante é que a nave usa um princípio de relatividade, segundo o qual o tempo desacelera no interior da nave quanto mais depressa ela se move. Por conseguinte, uma viagem às estrelas vizinhas que demora décadas, na perspectiva da Terra, aos astronautas parece durar apenas alguns anos. A um observador na Terra, que observe os astronautas através de um telescópio, parecer-lhe-á que eles estão paralisados no tempo, uma vez que estão numa espécie de animação suspensa. Mas, para os astronautas a bordo, o tempo flui normalmente. Quando a nave espacial desacelerar e os astronautas desembarcarem num novo mundo, verificarão que viajaram trinta anos-luz em poucos anos.

A nave, um prodígio de engenharia, é alimentada por motores de propulsão a jacto que extraem o hidrogénio do espaço esterior para, em seguida, o queimarem como energia ilimitada. Viaja tão depressa que a tripulação até pode ver o desvio de Doppler da luz das estrelas; as estrelas à sua frente surgem azuladas, enquanto as estrelas que ficam para trás parecem avermelhadas.

Então o desastre acontece. A cerca de dez anos-luz da Terra, a nave experimenta uma turbulência ao passar através de uma nuvem de poeira interestelar e o seu mecanismo de desaceleração é danificado. A tripulação, horrorizada, está agora presa numa nave descontrolada, cuja velocidade é cada vez maior e se aproxima da velocidade da luz. Desesperados, os tripulantes vêem a nave descontrolada atravessar sistemas de estrelas numa questão de minutos. Num ano, a nave percorre velozmente metade da Via Láctea. Quando acelera e fica sem controlo, a velocidade aumenta, as galáxias são ultrapassadas numa questão de meses, enquanto na Terra passaram

milhões de anos. Em breve, estão a viajar tão perto da velocidade da luz, tau zero, que presenciam eventos cósmicos no momento em que o próprio Universo começa a envelhecer.

Finalmente, vêem que a expansão original do Universo começa a reverter e que o Universo se começa a contrair sobre si próprio. As temperaturas começam a subir drasticamente, quando os tripulantes percebem que foram apanhados pelo big crunch. Os membros da tripulação rezam em silêncio, quando as temperaturas sobem rapidamente, as galáxias começam a coalescer e um átomo primordial cósmico se forma diante deles. A morte por incineração é inevitável.

A sua única esperança é que a matéria colapse numa área finita de densidade finita e que, viajando a uma grande velocidade, possam passar rapidamente através dela. Milagrosamente, os escudos protegemnos enquanto eles voam através do átomo primordial e se encontram perante a criação de um novo Universo. Quando o Universo volta a expandir-se, aterrorizados,

assistem à criação de novas estrelas e galáxias. Orientam cuidadosamente a nave espacial e dirigem-se para uma galáxia suficientemente antiga rica em elementos mais pesados que tomarão possível a vida. Finalmente, localizam um planeta que pode albergar vida onde estabelecem uma colónia para recomeçar a humanidade.

Esta história foi escrita em 1967, quando se desencadeou um vigoroso debate entre os astrónomos sobre o destino final do Universo: se se extinguirá num big crunch ou num big freeze, se oscilará indefinidamente, ou se continuará para sempre num estado estacionário. A questão pareceu então ficar resolvida com o aparecimento de uma nova teoria chamada de inflação.

APARECIMENTO DA INFLAÇÃO

«Um feito espectacularn, escreveu Alan Guth no seu diário, em 1979. Estava eufórico, pensando que podia ter tido uma das grandes ideias da cosmologia. Guth fez a primeira grande revisão da teoria do big bang em cinquenta anos fazendo uma observação seminal: podia resolver

um dos maiores enigmas da cosmologia, se supusesse que o Universo tinha sofrido uma hiperinflação no instante do seu nascimento, astronomicamente mais rápida do que a maior parte dos físicos acreditava ser possível. Com esta hiperexpansão, viu que podia, sem esforço, resolver uma porção de questões cosmológicas profundas que tinham desafiado todas as explicações. Era uma ideia que haveria de revolucionar a cosmologia. (Os dados cosmológicos recentes, que incluem os resultados do satélite WMAP, são consistentes com as suas previsões.) Não é a única teoria cosmológica, mas é de longe a mais simples e a mais credível.

É notável que uma ideia tão simples possa ter resolvido tantas questões cosmológicas tão difíceis. Um dos vários problemas que a inflação resolveu de forma elegante foi o problema do achatamento. Os dados astronómicos mostraram que a curvatura do Universo está muito próxima do zero, de facto muito mais próxima do zero do que a maior parte dos astrónomos julgava

possível. Isto podia ser explicado se o Universo, como um balão que está a ser enchido rapidamente, fosse achatado durante o período da inflação. Nós, como formigas que caminham sobre a superficie de um balão, somos simplesmente muito pequenos para observar esta minúscula curvatura do balão. A inflação alongou tanto o espaço-tempo que ele parece plano.

O que também foi histórico na descoberta de Guth é que representou a aplicação da física das partículas elementares, que envolve a análise das partículas mais pequenas que se encontram na natureza, à cosmologia, o estudo do Universo na sua totalidade, incluindo a sua origem. Compreendemos agora que os mistérios mais profundos do Universo não podem ser resolvidos sem a Física do muito pequeno: a teoria quântica e a Física das partículas elementares.

BUSCA DA UNIFICAÇÃO

Guth nasceu em 1947, em New Brunswick, New Jersey. Ao contrário do que aconteceu com Gamow, Einstein ou Hoyle, não houve um

instrumento ou um momento inicial que o impelisse para o mundo da Física. Os seus pais não eram licenciados nem mostravam muito interesse pela ciência. Mas, como ele próprio admite, sempre se deixou fascinar pela relação entre a Matemática e as leis da natureza.

No MIT, na década de 1960, pensou seriamente seguir carreira na física das partículas elementares. Estava particularmente fascinado pela excitação provocada por uma nova revolução na Física, a busca da unificação de todas as forças fundamentais. Durante séculos, o Santo Graal da Física consistiu em procurar unificar os temas que podem explicar as complexidades do Universo da forma mais simples e mais coerente. Desde o tempo dos Gregos que os cientistas têm pensado que o Universo que vemos hoje representa os restos fragmentados e dispersos de uma simplicidade maior e o nosso objectivo é descobrir esta unificação.

Depois de dois mil anos de investigação sobre a natureza da matéria e da energia, os

físicos determinaram que apenas quatro forças fundamentais governam o Universo. (Os cientistas procuraram uma possível quinta força, mas, até agora, todos os resultados nesta direcção têm sido negativos ou inconclusivos.)

A primeira força é a gravidade, que mantém o Sol coeso e guia os planetas nas suas órbitas celestes no sistema solar. Se a gravidade fosse subitamente «desligada», as estrelas explodiriam, a Terra desintegrarse-ia e todos nós seríamos atirados para o espaço exterior a cerca de 1.600 quilómetros por hora.

A segunda grande força é o electromagnetismo, a força que fez iluminar as nossas cidades, que encheu o nosso mundo de aparelhos de televisão, telefones, rádio, feixes de laser e Internet. Se a força electromagnética fosse subitamente desactivada, a civilização retrocederia 100 ou 200 anos, para a escuridão e para o silêncio. Isto foi graficamente ilustrado pelo grande blackout de 2003, que paralisou todo o Nordeste da América. Se examinarmos de perto a força

electromagnética, verificamos que é constituída por minúsculas partículas ou quanta chamadas fotões.

A terceira força é a força nuclear fraca, que é responsável por certos declínios radioactivos. Como a força fraca não é suficiente para manter coeso o núcleo do átomo, permite que ele se desintegre ou decaia. Nos hospitais, a medicina nuclear assenta sobretudo na força nuclear. A força fraca também ajuda a aquecer o interior da Terra através da matéria radioactiva, que impulsiona o imenso poder dos vulcões. A força fraca tem também a ver com as interacções dos electrões e dos neutrinos (partículas semelhantes a fantasmas que quase não têm massa e podem passar através de biliões de quilómetros de um meio sólido sem interagir com nele). Estes electrões e neutrinos interagem trocando outras partículas chamadas bosões W e Z.

A força nuclear forte mantém coeso os núcleos dos átomos. Sem a força nuclear, os núcleos desintegrar-se-iam todos, os átomos

dispersarse-iam, e a realidade, tal como a conhecemos, dissolver-se-ia. A força nuclear forte é responsável por aproximadamente uma centena de elementos que preenchem o Universo. As forças nucleares forte e fraca são, conjuntamente, responsáveis pela luz que emana das estrelas através da equação de Einstein E = mc2. Sem a força nuclear, todo o Universo ficaria às escuras, a temperatura na Terra desceria subitamente e os oceanos gelariam.

A espantosa característica destas quatro forças é que são completamente diferentes umas das outras, com intensidades e propriedades diferentes. Por exemplo, a gravidade é, de longe, a mais fraca das quatro forças, 1036 vezes mais fraca do que a força electromagnética. A Terra pesa 6 biliões de biliões de quilogramas e, no entanto, o seu peso maciço e a sua gravidade podem ser facilmente anulados pela força electromagnética. Um pente, por exemplo, pode atrair pequenos pedaços de papel através da electricidade estática, compensando, assim, a gravidade de toda a

Terra. Por outro lado, a gravidade é estritamente atractiva. A força electromagnética pode ser simultaneamente atractiva ou repulsiva, dependendo da carga da partícula.

UNIFICAÇÃO NO BIG BANG

Uma das questões fundamentais da Física é explicar porque é que o Universo é governado por quatro forças distintas. E por que razão estas forças são tão diferentes, com intensidades diferentes, com propriedades diferentes e tisicas diferentes?

Einstein foi o primeiro a encetar uma campanha para unificar estas forças numa única teoria compreensível, tendo começado por unificar a gravidade com a força electromagnética. Fracassou porque estava muito avançado em relação ao seu tempo; sabia-se muito pouco sobre a força forte para construir uma teoria realista do campo unificado. Mas o trabalho pioneiro de Einstein abriu os olhos do mundo da Física para a possibilidade de uma «teoria de tudo».

O objectivo de uma teoria de campo unificada parecia completamente despropositado na década de 1950, quando a Física das partículas elementares estava num caos completo, quando os colisionadores faziam explodir os núcleos para encontrar os «constituintes elementares» da matéria, apenas para descobrir mais umas centenas de partículas que jorravam das experiências. A «física das partículas elementares» transformou-se numa brincadeira, num alvo de gracejos cósmicos. Os Gregos pensavam que, se reduzíssemos uma substância aos seus blocos constituintes básicos, as coisas tomar-se-iam mais simples. Aconteceu o contrário: os físicos esforçaram-se por encontrar no alfabeto grego letras suficientes para rotular essas partículas. J. Robert Oppenheimer gracejou dizendo que o prémio Nobel da Física deveria ser atribuído ao físico que, nesse ano, não tivesse descoberto nenhuma partícula elementar. Steven Weinberg, laureado com o Nobel, começou a interrogar-se se a mente humana

seria capaz de resolver os segredos da força nuclear.

Contudo, a confusão abrandou um pouco no início da década de 1960, quando Murray Gell-Mann e George Zweig, do Cal Tech, propuseram a ideia dos quarks, os constituintes dos protões e neutrões. De acordo com a teoria dos quarks, três quarks constituem um protão ou um neutrão e um quark e um antiquark constituem um mesão (partícula que mantém o núcleo coeso). Esta era apenas uma solução parcial (hoje estamos inundados com diferentes tipos de quarks), mas serviu para injectar nova energia num campo até então adormecido.

Em 1967, foi feita uma espantosa descoberta pelos físicos Steven Weinberg e Abdus Salam, que mostraram que era possível unificar as forças fraca e electromagnética. Criaram uma nova teoria onde os electrões e os neutrinos (que se chamam leptões) interagiam uns com os outros trocando novas partículas chamadas bosões W e Z, bem como fotões. Pondo os bosões W e Z e os

fotões na mesma base, criaram uma teoria que unificava as duas forças. Em 1979, Steven Weinberg, Sheldon Glashow e Abdus Salam ganharam o Prémio Nobel pelo seu trabalho colectivo ao unificarem duas das quatro forças - a força electromagnética e a força fraca -e ao fornecerem informações sobre a força nuclear forte.

Na década de 1970, os físicos analisaram os dados provenientes do acelerador de partículas do Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), que projectava intensos feixes de electrões num alvo, de modo a poder sondar o interior profundo do protão. Descobriram que a força nuclear forte que mantinha os quarks juntos no interior do protão podia ser explicada pela introdução de novas partículas chamadas gluões, que são os quanta da força nuclear forte. A força de ligação que mantém o protão coeso podia ser explicada pela troca de gluões entre os quarks constituintes. Isto levou a uma nova teoria da força nuclear forte chamada Cromodinâmica Quântica.

Assim, em meados da década de 1970, foi possível juntar três das quatro forças (excluindo a gravidade), para obter o que se chama modelo padrão, uma teoria de quarks, electrões e neutrinos, que interagem trocando gluões, bosões W e Z, e fotões. Foi o culminar de décadas de penosa e lenta investigação em física das partículas. Actualmente, o modelo padrão ajusta-se, sem excepção, a todos os dados experimentais da física das partículas.

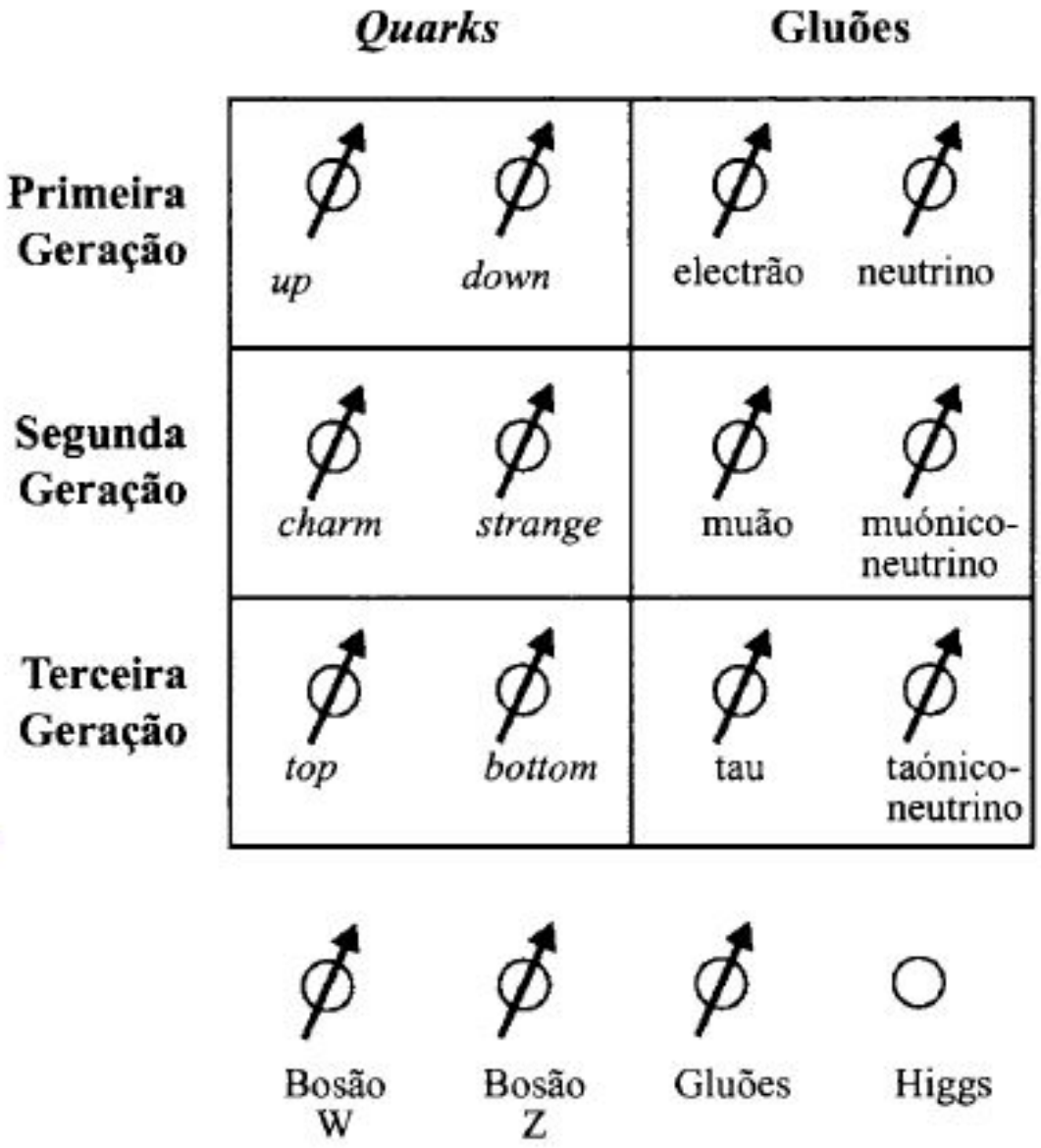
Embora o modelo padrão seja uma das teorias físicas mais bem sucedidas de todos os tempos, é bastante incómoda. É dificil acreditar que a natureza, num nível fundamental, possa operar sobre uma teoria que parece ter sido feita tão apressadamente. Por exemplo, há dezanove parâmetros arbitrários na teoria que são simplesmente postos à mão, sem qualquer harmonia ou razão (isto é, as várias massas e a intensidade das interacções não são determinadas pela teoria, mas têm de ser determinadas pela experiência; idealmente, numa teoria verdadeiramente unificada, estas

constantes deveriam ser determinadas pela própria teoria, sem assentar em experiências exteriores).

Além do mais, há três cópias exactas de partículas elementares chamadas gerações. É difícil acreditar que a natureza, ao seu nível mais fundamental, incluía três cópias exactas de partículas subatómicas. Excepto para as massas dessas partículas, estas gerações são duplicados umas das outras. (Por exemplo, as cópias do electrão incluem o muão, que pesa 200 vezes mais do que o electrão, e o tao, que pesa 3500 vezes mais.) E, por último, o modelo padrão não se refere à gravidade, embora esta talvez seja a força mais abrangente no Universo.

Como o modelo padrão, não obstante os seus espantosos sucessos experimentais, parecia tão artificial, os físicos tentaram desenvolver outra teoria, a teoria da grande unificação (GUT) que põe os quarks e os leptões no mesmo pé. O gluão, os bosões W e Z, e o fotão também são tratados ao mesmo nível. (No entanto, não podia ser a

«teoria final», porque a gravidade ainda foi manifestamente deixada de fora, por ser considerada demasiado difícil para se combinar com as outras forças, como veremos.)



Estas são partículas subatómicas do modelo padrão, a mais bem sucedida teoria d
partículas elementares. É constituído por *quarks*, que são os componentes dos pr
tões e dos neutrões, por leptões, como o electrão e o neutrino, e por muitas outr
partículas. Repare-se que o modelo oferece três cópias idênticas de partículas su
atómicas. Uma vez que omite a gravidade (e parece tão deselegante), os fisic
teóricos acham que esta não pode ser a teoria definitiva.

Este programa de unificação, por sua vez, apresentava à cosmologia um novo paradigma. A ideia era simples e elegante: no instante do big bang, as quatro forças fundamentais estavam unificadas numa única força coerente, uma «superforça» misteriosa. As quatro forças tinham todas a mesma intensidade e faziam parte de um todo coerente mais vasto. O Universo começou num estado de perfeição. Contudo, quando o Universo começou a expandir-se e a arrefecer rapidamente, a superforça original começou a «falham e as diferentes forças começaram a separar-se uma após a outra».

De acordo com esta teoria, o arrefecimento do Universo após o big bang é análogo ao congelamento da água. Quando a água está no estado líquido, é completamente uniforme e regular. No entanto, quando congela, milhões de minúsculos cristais de gelo formam-se no seu interior. Quando a água líquida está totalmente congelada, a sua uniformidade original é completamente

quebrada e o gelo contém, além de cristais, bolhas e fendas.

Por outras palavras, hoje vemos que o Universo está horrivelmente quebrado. Não é uniforme nem simétrico, mas é constituído por cadeias de montanhas recortadas, vulcões, furacões, asteróides rochosos, estrelas que explodem, sem qualquer unidade coerente; além disso, também vemos que as quatro forças fundamentais não têm qualquer relação umas com as outras. Mas a razão pela qual o Universo está tão fragmentado é o facto de ser muito antigo e frio.

Embora o Universo tenha começado num estado de unidade perfeita, passou por muitas transições de fase ou alterações de estado, e as forças do Universo libertaram-se uma a uma, à medida que arrefecia. Compete aos físicos voltar atrás, para reconstruir o modo como o Universo começou (num estado de perfeição) e para explicar esta fragmentação que vemos à nossa volta.

A chave, por conseguinte, consiste em compreender precisamente como ocorreram estas

transições de fase no começo do Universo, a que os físicos chamam «quebra espontânea de simetria». Quer seja a fusão do gelo, a ebulição da água, a criação de nuvens ou o arrefecimento do big bang, as transições de fase podem ligar duas fases da matéria completamente diferentes. (Para ilustrar quão poderosas podem ser estas transições de fase, o artista Bob Miller colocou o enigma: «Como se podem suspender 250.000 kg de água no ar sem meios de suporte visíveis? A resposta é: construir uma nuvem.»[1])

FALSO VÁCUO

Quando uma força se separa das outras, o processo pode ser comparado com a ruptura de um dique. Os rios correm em declive, porque a água flui na direcção da energia mais baixa, que se encontra ao nível do mar. No Universo o estado mais baixo de energia chama-se vácuo. No entanto, há um estado pouco comum que se chama falso vácuo. Se construirmos um dique num rio, por exemplo, o dique parece estável,

mas, na verdade, está sujeito a uma enorme pressão. Se uma pequena fenda se abre no dique, a pressão subitamente pode rebentá-lo e libertar uma torrente de energia de falso vácuo (rio com dique) e causar uma inundação catastrófica em direcção ao verdadeiro vácuo (o nível do mar). Vilas inteiras podem ser submersas, se ocorrer uma quebra espontânea do dique, e pode verificar-se uma transição súbita para o verdadeiro vácuo.

De modo análogo, na GUT, o Universo começou originalmente num estado de falso vácuo, com três forças unificadas numa única força. Contudo, o estado era instável e a quebra foi espontânea fazendo a transição do falso vácuo, onde as forças estavam unificadas, para o verdadeiro vácuo, onde as forças estão livres.

Já se sabia disto antes de Guth começar a analisar a GUT. Mas Guth reparou num pormenor em que outros não tinham reparado. No estado do falso vácuo, o Universo expande-se exponencialmente, tal como de Sitter previu em 1917. É a

constante cosmológica, a energia do falso vácuo, que leva o Universo a expandir-se a uma taxa tão elevada. Guth fez a si próprio uma pergunta decisiva: pode esta expansão exponencial de Sitter resolver alguns dos problemas da cosmologia?

PROBLEMA DO MONOPÓLO

Uma previsão de várias GUT foi a produção de grande número de monopólos no começo do tempo. O monopólo é um único pólo magnético norte ou sul. Na natureza, os pólos magnéticos encontram-se sempre aos pares. Se pegarmos num íman, veremos que ele tem invariavelmente um pólo norte e um pólo sul ligados um ao outro. Se pegarmos num martelo e partirmos o íman ao meio, não ficaremos com dois monopólos, mas com dois ímanes mais pequenos, cada um deles com o seu pólo norte e o seu pólo sul.

O problema, contudo, foi que os cientistas, depois de séculos de experiências, não encontraram provas conclusivas da existência de monopólos. Uma vez que nunca ninguém viu um, Guth estava intrigado porque é que as GUT

previam tantos. «Como o unicórnio, o monopólo continuou a fascinar a mente humana apesar da ausência de observações que os confirmem»[2], observou Guth.

Então subitamente percebeu. Num abrir e fechar de olhos, todas as peças se ajustaram. Compreendeu que, se o Universo tivesse começado num estado de falso vácuo, podia expandir-se exponencialmente, como de Sitter tinha proposto há décadas. Neste estado de falso vácuo, o Universo podia subitamente sofrer uma incrível inflação, diluindo, assim, a densidade de monopólos. Se os cientistas nunca tinham visto monopólos, era apenas porque eles estavam espalhados num Universo que era muito maior do que anteriormente se pensara.

Esta revelação foi motivo de diversão e de alegria para Guth. Esta observação tão simples podia explicar imediatamente o problema do monopólo. Mas Guth compreendeu que esta previsão teria implicações cosmológicas que iam muito para além da sua ideia original.

PROBLEMA DO ACHATAMENTO

Guth compreendeu que esta teoria resolvia um outro problema, o problema do achatamento, discutido anteriormente. A representação padrão do big bang não podia explicar porque é que o Universo era tão plano. Na década de 1970, acreditava-se que a densidade da matéria no Universo, designada Ω, era aproximadamente 0,1. O facto de este valor estar muito próximo da densidade crítica de 1,0, vários milhares de milhões de anos depois do big bang, era profundamente perturbador. À medida que o Universo se expandia, Ω devia ter mudado com o tempo. Este número era desconfortavelmente próximo do valor 1,0, que descreve um espaço perfeitamente plano.

Para qualquer valor razoável de Ω no começo do tempo, as equações de Einstein mostram que hoje devia ser quase zero. Para Ω estar tão próximo de 1, tantos milhares de milhões de anos depois do big bang, seria preciso um milagre. Isto é o que, em cosmologia, se chama o problema da

sintonização perfeita. Deus, ou algum criador, teve de «escolhem o valor de Ω com uma precisão fantástica para Ω ser hoje cerca de 0,1. O facto de Ω se situar hoje entre 0,1 e 10 significa que Ω teve de ser 1,00000000000000 um segundo após o big bang. Por outras palavras, no começo do tempo, o valor de Ω teve de ser «escolhido» para igualar o número 1 dentro de uma parte em cem biliões, o que é dificil de compreender.

Imagine que quer equilibrar verticalmente um lápis sobre a sua ponta. Independentemente do modo como equilibrarmos o lápis, ele geralmente cai. De facto, é preciso uma sintonização perfeita para equilibrar o lápis de modo a que ele não caia. Agora tente equilibrar o lápis sobre a sua ponta de modo a que ele fique na vertical, não só durante uns segundos, mas durante anos! Pode imaginar a enorme sintonização necessária para conseguir que Ω seja hoje 0,1. O mais pequeno erro na sintonização de Ω teria originado um Ω muito diferente de 1. Assim, porque é que Ω está

tão perto de 1, quando, por direito, devia ser astronomicamente diferente?

Para Guth a resposta era óbvia. A inflação do Universo atingiu um grau tão elevado que o aplanou. Como alguém que conclui que a Terra é plana, porque não pode ver o horizonte, os astrónomos concluíram que Ω era aproximadamente 1, porque a inflação aplanou o Universo.

PROBLEMA DO HORIZONTE

A inflação não só explicou os dados que fundamentam o achatamento do Universo como também resolveu o problema do horizonte. Este problema baseia-se na simples compreensão de que o céu noctumo parece ser relativamente uniforme para onde quer que olhemos. Se voltarmos a cabeça 180 graus, observamos que o Un iverso é uniforme, embora apenas vejamos partes dele separadas por dezenas de milhares de milhões de anos-luz. Telescópios poderosos que perscrutam os céus não encontram desvios significativos desta uniformidade. Os nossos satélites espaciais mostraram que a radiação cósmica de fundo

também é extremamente uniforme. Para onde quer que olhemos, a temperatura da radiação do fundo não se desvia mais do que um milionésimo de grau.

Mas isto constitui um problema, porque a velocidade da luz é o limite da velocidade no Universo. Não há maneira, na vida do Universo, de a luz ou a informação poderem viajar de uma parte do céu noctumo para outra parte. Por exemplo, se olharmos para a radiação de micro-ondas numa direcção, ela viajou cerca de 13 mil milhões de anos desde o big bang. Se voltarmos a cabeça e olharmos na direcção oposta, verificamos que a radiação de micro-ondas é idêntica e que também viajou cerca de 13 mil milhões de anos. Uma vez que se encontram à mesma temperatura, devem ter estado em contacto térmico no começo do tempo. Mas não é possível que a informação tenha viajado de pontos opostos do céu noctumo (separados por cerca de 26 mil milhões de anosluz) desde o big bang.

A situação ainda é mais complicada se olharmos para o céu 380.000 anos após o big bang, quando a radiação de fundo se formou. Se olharmos para pontos opostos do céu, vemos que a radiação de fundo é quase uniforme. Mas, de acordo com os cálculos da teoria do big bang, estes pontos opostos encontram-se separados por 90 milhões de anos-luz (devido à expansão do espaço desde a explosão). A luz não pode ter viajado 90 milhões de anos-luz em 380.000 anos. A informação teria viajado muito mais depressa do que a velocidade da luz, o que é impossível.

De facto, o Universo deveria parecer encaroçado, com uma parte demasiado distante para ter estado em contacto com a outra parte. Como pode o Universo parecer tão uniforme, quando a luz não teve tempo para espalhar a informação de uma parte distante para a outra? (O físico de Princeton Robert Dicke chamou a este problema o problema do horizonte, uma vez que o horizonte é o lugar dos pontos mais distantes que

podemos observar, os pontos mais distantes que a luz pode atingir.)

Mas Guth compreendeu que a inflação também era a chave para explicar este problema. Raciocinou que o Universo visível era provavelmente um simples pedaço da bola de fogo original. Este pedaço, por sua vez, tinha densidade e temperatura uniformes. Mas a inflação expandiu subitamente este pequeno pedaço de matéria uniforme por um factor de 10^{50}, com uma velocidade superior à da luz, pelo que o Universo visível hoje é notavelmente uniforme. Assim, a razão pela qual o céu noctumo e a radiação de micro-ondas são tão uniformes é que o Universo visível foi outrora um minúsculo, mas uniforme, pedaço da bola de fogo original que subitamente sofreu inflação e se transformou no Universo actual.

REACÇÃO À INFLAÇÃO

Embora Guth acreditasse que a ideia da inflação era correcta, ficava um tanto nervoso quando comunicava em público. Quando

apresentou a sua teoria em 1980 confessou: «Ainda estava preocupado que alguma consequência da teoria pudesse estar espectacularmente errada. Também receava revelar a minha situação de cosmólogo novato». Mas esta teoria era tão elegante e tão poderosa que os físicos de todo o mundo imediatamente reconheceram a sua importância. Murray Gell-Mann, que ganhou o Prémio Nobel, exclamou: «Resolveu o problema mais importante da cosmologia!»[3] Sheldon Glashow, que também ganhou o Nobel, confidenciou a Guth que Steven Weinberg tinha ficado «furioso», quando ouviu falar da inflação. Ansiosamente, perguntou: «Steven levantou alguma objecção?»[4] Glashow respondeu: «Não, simplesmente ainda não encontrou nenhuma.» Como era possível que eles não tivessem encontrado uma solução tão simples, perguntavam os cientistas a si próprios. A teoria de Guth foi recebida com entusiasmo pelos físicos teóricos, admirados com o seu alcance.

Também teve um impacto nas expectativas de trabalho de Guth. Devido às dificuldades do mercado de trabalho, ele tinha poucas esperanças de conseguir emprego. «Eu estava numa situação marginal no mercado de trabalho»[5], confessou. Subitamente, as ofertas de trabalho começaram a chover das principais universidades, mas não da que ele colocava em primeiro lugar, o MIT. No entanto, nessa altura, um horóscopo que leu dizia: «Tem diante de si uma excelente oportunidade, se não for demasiado tímido.» Isto encorajou-o a telefonar para o MIT e perguntar se havia trabalho. Ficou espantado quando, alguns dias depois, lhe ofereceram um lugar de professor. O horóscopo seguinte dizia: «Não deve agir por impulso momentâneo.» Ignorando esta advertência, decidiu aceitar o lugar no MIT: «Como posso acreditar em tudo o que dizem os horóscopos?» interrogou-se.

No entanto, ainda havia problemas sérios. Os astrónomos estavam pouco impressionados com a teoria de Guth, uma vez que ela era claramente

deficiente numa área: fazia uma previsão errada de Ω. O facto de Ω ser aproximadamente 1 podia ser explicado pela inflação. Contudo, a inflação foi muito mais longe e previu que Ω (ou Ω + A) devia ser precisamente 1,0, correspondente a um Universo plano. Nos anos que se seguiram, à medida que eram coligidos cada vez mais dados experimentais que localizavam grandes quantidades de matéria negra no Universo, Ω alterou-se ligeiramente, subindo para 0.3. Mas isto ainda era potencialmente fatal para a inflação. Embora a inflação viesse originar cerca de três mil artigos na década seguinte na comunidade dos físicos, para os astrónomos continuava a ser uma curiosidade. Parecia-lhes que os dados excluíam a inflação.

Alguns astrónomos lamentaram em privado que os físicos das partículas estivessem tão obcecados com a beleza da inflação que estavam a ignorar os factos experimentais. (O astrónomo Robert Kirshner de Harvard escreveu: «Esta ideia de 'inflação' parece insensata.[6]. O facto de ser

tomada a sério por pessoas que ocupam cátedras com responsabilidade não a toma necessariamente correcta.» Roger Penrose, de Oxford, chamou à inflação «uma moda que os físicos das altas energias aprenderam com os cosmólogos ... Até mesmo os oricteropes pensam que os seus filhos são bonitos.»[7])

Guth acreditava que, mais cedo ou mais tarde, os dados haveriam de mostrar que o Universo era plano. Mas o que o preocupava era que a sua representação original sofria de um defeito pequeno, mas crucial, que ainda hoje não está completamente compreendido. A inflação foi idealmente concebida para resolver uma série de problemas cosmológicos profundos. O problema era que ele não sabia como se livrar da inflação.

Suponha que aquecemos uma vasilha com água até ao ponto de ebulição. Mesmo antes de ferver, a água encontra-se momentaneamente num estado de alta energia. Quer ferver, mas não pode, porque é necessária alguma impureza para começar uma bolha. Mas logo que uma bolha

começa, entra imediatamente num estado de baixa energia do verdadeiro vácuo e a vasilha enche-se de bolhas. Finalmente, as bolhas tomam-se tão grandes que coalescem, até a vasilha ficar completamente cheia de vapor. Quando todas as bolhas desaparecem, a transição da água para o vapor está completa.

Na representação original de Guth, cada bolha representa um pedaço do nosso Universo que está a sofrer inflação a partir do vácuo. Mas quando Guth fez este cálculo, descobriu que as bolhas não coalesciam propriamente, deixando o Universo cheio de protuberâncias. Por outras palavras, a sua teoria deixava a vasilha cheia de bolhas de vapor que nunca desaparecia completamente para se transformarem numa vasilha uniforme de vapor. A vasilha de água a ferver de Guth parece que nunca acontece no Universo de hoje.

Em 1981, Andrei Linde do P. N. Lebedev Institute na Rússia e Paul J. Steinhardt e Andreas Albrecht, então na Universidade de Pensilvânia,

encontraram uma maneira de contornar este enigma, percebendo que, se uma única bolha de falso vácuo sofresse inflação durante tempo suficiente, acabaria por encher toda a vasilha e criar um Universo uniforme. Por outras palavras, todo o nosso mundo podia ser um subproduto de uma única bolha que sofresse inflação até encher o Universo. Não é preciso que um grande número de bolhas coalesçam para criar uma vasilha uniforme de vapor. Apenas uma única bolha o poderia fazer, se sofresse inflação suficiente.

Pense na analogia atrás referida entre o dique e o falso vácuo. Quanto mais espesso for o dique, mais tempo será necessário para que a água passe através de um túnel no dique. Se a parede do dique for suficientemente espessa, então a passagem pelo túnel demorará muito mais. Se o Universo pudesse sofrer inflação por um factor de 10^{50}, então uma única bolha teria tempo suficiente para resolver o problema do horizonte, do achatamento e do monopólo. Por outras palavras, se a passagem pelo túnel for suficientemente

demorada, o Universo sofre a inflação suficiente para aplanar o Universo e diluir os monopólos. Mas isto ainda levanta a questão: que mecanismo pode prolongar tanto a inflação?

Finalmente, este problema complicado ficou conhecido como «o problema da saída elegante», isto é, como inflacionar o Universo durante o tempo suficiente para que uma única bolha o possa criar. Ao longo dos anos, foram propostos pelo menos cinquenta mecanismos diferentes para resolver o problema da saída elegante. (Este é um problema aparentemente dificil. Eu próprio tentei várias soluções. Foi relativamente fácil gerar uma pequena quantidade de inflação no Universo primitivo. Mas o que é extremamente dificil é conseguir que ele inflacione por um factor de 10^{50}. Evidentemente, é possível colocar simplesmente o factor 10^{50} à mão, o que é artificial.) Por outras palavras, acreditou-se que o processo de inflação tinha resolvido os problemas do horizonte, do monopólo e do achatamento, mas

ninguém sabia exactamente o que activou a inflação e o que a desactivou.

INFLAÇÃO CAÓTICA E UNIVERSOS PARALELOS

O físico Andrei Linde não estava preocupado pelo facto de ninguém estar de acordo com uma solução para o problema da saída elegante. Linde confessou: «Tenho a sensação de que era impossível que Deus não tivesse usado uma possibilidade tão boa para simplificar o seu trabalho.»[8]

Finalmente, Linde propôs uma nova versão da inflação que parecia eliminar alguns dos defeitos das versões anteriores. Imaginava um Universo no qual, em pontos aleatórios do espaço e do tempo, ocorre uma quebra espontânea. Em cada ponto em que a quebra ocorre, é criado um Universo que sofre uma pequena inflação. A maior parte das vezes, a quantidade de inflação é menor. Porém, como este processo é aleatório, acabará por haver uma bolha onde a inflação dura tempo suficiente para criar o nosso Universo. A

conclusão lógica que daqui decorre é que a inflação é contínua e eterna, e que estão sempre a ocorrer grandes big bangs, com universos que brotam de outros universos. Nesta representação, os universos podem «geram outros, criando um «multiverso».

Nesta teoria, a quebra espontânea pode ocorrer em qualquer parte do nosso Universo, permitindo que um Universo inteiro «tenha sido gerado» pelo nosso. Também significa que o nosso próprio Universo pode ter nascido de um Universo anterior. No modelo inflacionário caótico, o multiverso é eterno, mesmo que os universos individuais não o sejam. Alguns universos podem ter tido um Ω muito grande e, nesse caso, desaparecem imediatamente num big crunch após o big bang. Algunsuniversos têm apenas um Ω pequeno e expandem-se para sempre. Finalmente, o multiverso é dominado pelos universos que sofrem uma inflação muito grande.

Em resumo, somos forçados a aceitar a ideia dos universos paralelos. A inflação representa a

fusão da cosmologia tradicional com os avanços da física das partículas. Sendo uma teoria quântica, a física das partículas estabelece que há uma probabilidade finita de ocorrerem eventos pouco prováveis, tais como a criação de universos paralelos. Assim, ao admitirmos a possibilidade de ser criado um Universo, abrimos a porta à probabilidade de ser criado um número infinito de universos paralelos. Pense-se, por exemplo, no modo como o electrão é descrito na teoria quântica. Devido à incerteza, o electrão não existe num único ponto, mas em todos os pontos possíveis em redor do núcleo. Esta «nuvem» que rodeia o núcleo representa o electrão em muitos lugares ao mesmo tempo. Esta é a base fundamental de toda a Química que permite que os electrões dêem coesão às moléculas. A razão pela qual as nossas moléculas não se desfazem é que os electrões dançam em volta delas mantendo-as coesas. De modo análogo, o Universo foi outrora mais pequeno que um electrão. Quando aplicamos a teoria quântica ao Universo, somos

forçados a admitir a possibilidade de ele existir simultaneamente em muitos estados. Por outras palavras, uma vez aberta a porta à aplicação de flutuações quânticas, somos quase forçados a admitir a possibilidade de universos paralelos. Parece não haver muita escolha.

O UNIVERSO A PARTIR DO NADA

Em primeiro lugar, podemos levantar objecções ao conceito de um multiverso, porque parece violar as leis conhecidas, como a lei da conservação da matéria e da energia. No entanto, o conteúdo total de matéria/energia de um Universo pode, na realidade, ser muito pequeno. O conteúdo de matéria do Universo, incluindo todas as estrelas, planetas e galáxias, é muito elevado e positivo. Contudo, a energia armazenada na gravidade pode ser negativa. Se acrescentarmos a energia positiva devida à matéria, à energia negativa devida à gravidade, a soma pode ser próxima de zero! Em certo sentido, esses universos são livres. Podem originar-se do vácuo quase sem esforço. (Se o Universo for fechado, então o

seu conteúdo total de energia deverá ser exactamente zero).

(Para compreender isto, pense num burro que cai num enorme buraco no chão. Temos de adicionar energia ao burro para o tirar do buraco. Logo que ele esteja fora do buraco e de pé, considera-se que tem energia zero. Assim, como tivemos de adicionar energia ao burro para o fazer regressar a um estado de energia zero, ele tinha energia negativa enquanto esteve no buraco. De modo semelhante, é preciso energia para tirar um planeta do sistema solar. Logo que esteja em liberdade no espaço, o planeta tem energia zero. Uma vez que temos de acrescentar energia para tirar um planeta de um sistema solar, isto é, para que ele atinja um estado de energia zero, o planeta tem energia gravitacional negativa, enquanto se encontra no sistema solar.)

De facto, criar um Universo como o nosso requer uma quantidade líquida de matéria ridiculamente pequena, talvez tão pequena como 0,03 kg. Como Guth gosta de dizer, «o Universo pode ser

um almoço grátis». A ideia de criar um Universo a partir do nada foi exposta pela primeira vez pelo físico Edward Tryon do Hunter College da City University de Nova Iorque, num artigo publicado na Nature, em 1973. Especulava que o Universo é uma coisa «que acontece de tempos a tempos», devido a uma flutuação quântica do vácuo. (Embora a quantidade líquida de matéria necessária para criar um Universo possa ser próxima do zero, esta matéria pode ser comprimida para atingir densidades incríveis, como veremos no capítulo 12).

Como as mitologias P'an Ku, este é um exemplo de cosmologia da creatio ex nihilo. Embora a teoria do Universo-a-partir-do-nada não possa ser provada através de meios convencionais, ajuda a responder a questões muito práticas acerca dele. Por exemplo, porque é que o Universo gira? Tudo o que vemos à nossa volta gira, desde piões, furacões, planetas, galáxias e quasares. Parece ser uma característica universal da matéria do Universo. Mas o próprio Universo não gira.

Quando observamos as galáxias nos céus, a sua rotação total reduz-se a zero. (Isto é muito bom, porque, como veremos no capítulo 5, se o Universo girasse, as viagens no tempo seriam um lugar comum e seria impossível escrever a História.) A razão pela qual o Universo não gira talvez seja o facto de ter vindo do nada. Uma vez que o vácuo não gira, não esperamos observar no nosso Universo qualquer rotação líquida. De facto, todos os universos-bolha dentro do multiverso podem ter rotação líquida zero.

Porque é que as cargas eléctricas positiva e negativa se equilibram perfeitamente? Normalmente, quando pensamos nas forças cósmicas que regem o Universo, pensamos mais na gravidade do que na força electromagnética, embora a força gravitacional seja infinitesimamente pequena, quando comparada com a força electromagnética. A razão disto é o equilíbrio perfeito entre cargas positivas e negativas. Consequentemente, a carga líquida do Universo parece ser

zero e é a gravidade que domina o Universo e não a força electromagnética.

Embora tomemos isto como verdadeiro,[9] a anulação das cargas positivas e negativas é notável e tem sido verificada experimentalmente numa parte em 10^{21}. (É claro que há desequilíbrios locais entre as cargas e é por isso que temos raios e relâmpagos. Mas o número total de cargas, mesmo nos temporais, reduz-se a zero.) Se a diferença entre as cargas eléctricas líquidas positivas e negativas no nosso corpo fosse apenas 0,00001%, seríamos instantaneamente feitos em pedaços, sendo as diferentes partes do corpo projectadas para o espaço exterior pela força eléctrica.

A resposta a estes velhos enigmas talvez seja o facto de o Universo vir do nada. Como o vácuo tem rotação líquida e carga zero, qualquer Universo-bebé que se origine a partir do nada também tem rotação e carga zero.

Há uma excepção aparente a esta regra[10]. Essa excepção deve-se ao facto de o Universo ser

constituido por matéria em vez de antimatéria. Como a matéria e a antimatéria se opõem (a antimatéria tem carga exactamente oposta à da matéria), podemos supor que o big bang deve ter criado igual quantidade de matéria e de antimatéria. O problema, contudo, é que a matéria e a antimatéria se aniquilarão uma à outra numa combustão de raios gama. Assim, não deveríamos existir. O Universo deveria ser um conjunto aleatório de raios gama em vez de estar cheio de matéria comum. Se o big bang fosse perfeitamente simétrico (ou se tivesse vindo do nada), então poderíamos esperar que se formassem quantidades iguais de matéria e de antimatéria. Sendo assim, porque existimos? A solução proposta pelo físico russo Andrei Sakharov é que o big bang original não era perfeitamente simétrico. Houve uma pequena quebra de simetria entre matéria e antimatéria no instante da criação, pelo que a matéria predominava sobre a antimatéria, o que tomou possível o Universo que vemos à nossa volta. (A simetria que foi

quebrada no big bang chama-se simetria CP, a simetria que inverte as cargas e a paridade das partículas de matéria e de antimatéria.) Se o Universo veio do «nada», então talvez o nada não fosse perfeitamente vazio, mas tivesse uma pequena quebra de simetria, que permite o ligeiro predomínio actual da matéria sobre a antimatéria. A origem desta quebra de simetria ainda não foi compreendida.

QUAL É O ASPECTO DOS OUTROS UNIVERSOS?

A ideia do multiverso é atraente, porque tudo o que nós temos a fazer é admitir que a quebra espontânea ocorre aleatoriamente. Não é preciso fazer outras suposições. Cada vez que um Universo brota de outro Universo, as constantes físicas diferem das originais criando novas leis físicas. Se isto é verdade, então uma realidade completamente nova pode emergir dentro de cada Universo. Isto, no entanto, suscita a seguinte intrigante questão: qual é a configuração desses outros universos? A chave para compreender a

Física dos universos paralelos é perceber como os universos são criados, isto é, compreender precisamente quão espontânea é a quebra que se verifica.

Quando um Universo nasce e ocorre uma quebra espontânea, também é quebrada a simetria da teoria original. Para um físico, beleza significa simetria e simplicidade. Se uma teoria é bela, isso significa que tem uma simetria poderosa, capaz de explicar um largo conjunto de dados da maneira mais sucinta e económica. Mais precisamente, uma equação é considerada bela, se permanecer a mesma, quando trocarmos os seus componentes. Uma grande vantagem de encontrar as simetrias ocultas da natureza é podermos mostrar que fenómenos aparentemente distintos são, na realidade, manifestações da mesma coisa, ligadas entre si por uma simetria. Por exemplo, podemos mostrar que a electricidade e o magnetismo são, de facto, dois aspectos do mesmo objecto, porque há uma simetria que pode trocá-los nas equações de Maxwell. De modo análogo,

Einstein mostrou que a relatividade pode transformar o espaço em tempo e vice-versa, porque fazem parte do mesmo objecto, a estrutura do espaço-tempo.

Considere-se um floco de neve, que tem uma bonita simetria sêxtupla, uma fonte de fascínio sem fim. O floco de neve continua idêntico mesmo que o façamos rodar 60 graus. Isto também significa que qualquer equação que escrevermos para descrever o floco de neve deverá reflectir esse facto, ou seja, que ele se mantém invariável ao sofrer uma rotação de múltiplos de 60 graus. Matematicamente, diz-se que o floco de neve tem simetria C_6.

As simetrias codificam a beleza oculta da natureza. Mas, na realidade essas simetrias estão, hoje, horrivelmente quebradas. As quatro grandes forças não se assemelham nada umas às outras. De facto, o Universo está cheio de irregularidades e defeitos; à nossa volta estão os fragmentos e os pedaços da simetria original, primordial, destruída pelo big bang. Assim, a chave para

compreender possíveis universos paralelos é compreender a «quebra de simetria» - isto é, o modo como estas simetrias podem ter sido quebradas depois do big bang. Como o físico David Gross disse: «O segredo da natureza é a simetria, mas grande parte da textura do mundo é devida a mecanismos de quebra de simetria»[11].

Veja-se como um bonito espelho se parte em mil pedaços. O espelho original tinha uma grande simetria. Podemos fazer rodar o espelho em qualquer ângulo e ele continua a reflectir a luz da mesma maneira. Mas depois de se partir, a simetria original é quebrada. Determinar precisamente como a simetria se quebrou determina o modo como o espelho se parte.

QUEBRA DE SIMETRIA

Para compreender melhor, pense no desenvolvimento de um embrião. Na fase inicial, alguns dias depois da concepção, um embrião consiste numa esfera de células perfeita. As células não são diferentes umas das outras. Parecem

idênticas, independentemente do modo como as fizermos girar. Os físicos dizem que o embrião, nesta fase, tem simetria O(3), isto é, permanece o mesmo, independentemente do modo como o fizermos rodar.

Embora o embrião seja belo e elegante, também é bastante inútil. Sendo uma esfera perfeita, não pode desempenhar quaisquer funções úteis nem interagir com o meio. No entanto, com o tempo, o embrião quebra esta simetria, desenvolvendo uma pequena cabeça e um tronco assemelhando-se a um pino de bowling. Embora a simetria esférica original esteja agora quebrada, o embrião ainda tem uma simetria residual; permanece o mesmo, se o fizermos girar ao longo do seu eixo. Assim, tem simetria cilíndrica. Matematicamente, diz-se que a simetria original O(3) da esfera foi agora quebrada dando origem à simetria O(2) do cilindro.

Contudo, a quebra da simetria O(3) pode ter-se processado de maneira diferente. As estrelas-do-mar, por exemplo, não têm simetria cilíndrica

ou bilateral; em vez disso, quando a simetria esférica é quebrada, têm um simetria C_5 (que permanece a mesma com rotações de72 graus), que lhes dá a sua forma de estrela com cinco pontas. Assim, o modo como a simetria O(3) se quebra determina a forma do organismo, quando ele nasce.

De modo semelhante, os cientistas acreditam que o Universo começou num estado de simetria perfeita, em que todas as forças estavam unificadas numa única força. O Universo era bonito, simétrico, mas bastante inútil. A vida, tal como nós a conhecemos, não podia existir neste estado perfeito. Para que a vida fosse possível, a simetria do Universo teve de ser quebrada à medida que ele arrefecia.

SIMETRIA E MODELO PADRÃO

Do mesmo modo, para compreender a configuração dos universos paralelos, temos primeiro de compreender as simetrias das interacções forte, fraca e electromagnética. A força forte, por exemplo, baseia-se em três quarks aos quais os

cientistas atribuíram uma «com fictícia (por exemplo, vermelho, branco e azul). Queremos que as equações permaneçam as mesmas, se trocarmos estes três quarks coloridos. Dizemos que as equações têm simetria SU(3), ou seja, quando redispomos os três quarks, as equações continuam idênticas. Os cientistas acreditam que uma teoria com simetria SU(3) constitui a descrição mais precisa das interacções fortes (chamada Cromodinâmica Quântica). Se tivéssemos um supercomputador gigantesco, partindo apenas da massa dos quarks e da intensidade das suas interacções, poderíamos, em teoria, calcular todas as propriedades do protão e do neutrão e todos os resultados da Física Nuclear.

De forma semelhante, suponhamos que obtemos dois leptões, o electrão e o neutrino. Se os trocarmos numa equação, temos simetria SU(2). Também podemos considerar a luz, que tem o grupo de simetria U(l). (Este grupo de simetria mistura os vários componentes ou polarizações de luz uns com os outros.) Assim, o grupo de

simetria das interacções fraca e electromagnética é SU(2) x U(I).

Se juntarmos estas três teorias, obtemos sem surpresa a simetria SU(3) x SU(2) x SU(l); por outras palavras, a simetria que separadamente mistura três quarks entre si e dois electrões entre si (mas não mistura quarks com leptões). A teoria resultante é o modelo padrão que, como já vimos, é talvez uma das teorias mais bem sucedidas de todos os tempos. Como Gordon Kane, da Universidade de Michigan, diz: «Tudo o que acontece no nosso mundo (exceptuando os efeitos da gravidade) resulta das interacções de partículas do modelo padrão.»[12] Algumas das suas previsões têm sido testadas em laboratório e mostraram-se válidas numa parte em cem milhões. (De facto, foram atribuídos vinte prémios Nobel a físicos que reuniram as diversas partes do modelo padrão).

Finalmente, é possível construir uma teoria que combina as interacções forte, fraca e electromagnética numa única simetria. A GUT mais

simples que pode trocar as cinco partículas (três quarks e dois leptões) umas pelas outras simultaneamente. Ao contrário da simetria do modelo padrão, a simetria GUT pode misturar quarks e leptões (o que significa que os protões podem decair em electrões). Por outras palavras, as GUT contêm simetrias SU(5) (rearranjando as cinco partículas - três quarks e dois leptões - entre si. Ao longo dos anos, muitos outros grupos de simetria têm sido analisados, mas SU(5) talvez seja o grupo mínimo que se ajusta aos dados).

Quando a quebra espontânea ocorre, a simetria original da GUT pode quebrar-se de várias maneiras. Numa delas, a simetria da GUTH quebra-se em SU(3) x SU(2) x U(l) exactamente com os 19 parâmetros livres de que precisamos para descrever a nosso Universo, o que nos dá o Universo conhecido. Contudo, há hoje muitas maneiras de quebrar a simetria da GUT. É muito provável que outros universos tenham uma simetria residual muito diferente. No mínimo, estes universos paralelos podem ter valores diferentes

destes 19 parâmetros. Por outras palavras, a intensidade das várias forças seria diferente em universos diferentes, o que produziria grandes alterações na estrutura do Universo. Enfraquecendo a intensidade da força nuclear, por exemplo, é possível impedir a formação de estrelas, deixando o Universo mergulhado numa escuridão eterna e tomando a vida impossível. Se a força nuclear for demasiadamente forte, as estrelas poderão queimar as suas reservas nucleares tão depressa que não haverá tempo para a vida se originar.

Também se pode alterar o grupo de simetria criando um Universo de partículas completamente diferente. Nalguns desses universos, o protão podia não ser estável e decairia rapidamente em antielectrões. Esses universos não podem albergar a vida tal como a conhecemos, e desintegrar-se-iam rapidamente numa mistura sem vida de electrões e neutrinos. Outros universos podiam quebrar a simetria da GUT ainda de outra maneira, de modo a haver mais partículas estáveis, como os protões. Num desses universos,

podia existir uma enorme variedade de novos elementos químicos estranhos. A vida nesses universos podia ser mais complexa do que no nosso, com mais elementos químicos a partir dos quais era possível criar substâncias químicas semelhantes ao ADN.

Também podemos quebrar a simetria original da GUT, de modo a termos mais do que uma simetria U(l), pelo que há mais que uma forma de luz. Este será, de facto, um Universo estranho onde os seres podem «vem usando não apenas uma espécie de força mas várias. Nesse Universo, os olhos de qualquer ser vivo podiam ter uma grande variedade de receptores para detectar várias formas de radiação semelhante à luz.

Não nos surpreende, assim, que haja centenas, ou talvez até um número infinito de maneiras de quebrar essas simetrias. Cada uma dessas soluções, por sua vez, podia corresponder a um Universo completamente separado.

PREVISÕES TESTÁVEIS

Infelizmente, no presente, é impossível testar a teoria do multiverso, que envolve universos múltiplos com diferentes conjuntos de leis tisicas. Seria necessário viajar mais depressa do que a luz para alcançar esses outros universos. Porém, uma vantagem da teoria da inflação é que ela faz predições testáveis acerca da natureza do nosso Universo.

Uma vez que a teoria inflacionária é uma teoria quântica, baseiase no princípio da incerteza de Heisenberg, a pedra angular da teoria quântica. (O princípio da incerteza diz que não é possível efectuar medições com precisão infinita, como medir a velocidade e a posição de um electrão. Independentemente do grau de sensibilidade dos instrumentos, haverá sempre incerteza nas medições. Se conhecermos a velocidade de um electrão, não poderemos conhecer a sua localização precisa; se conhecermos a sua localização, não poderemos conhecer a sua velocidade.) Aplicando este princípio à bola de fogo original que provocou o big bang, conclui-se que a

explosão cósmica original não podia ter sido infinitamente «Uniforme». (Se tivesse sido perfeitamente uniforme, então conheceríamos com precisão as trajectórias das partículas subatómicas que emanam do big bang, o que viola o princípio da incerteza). A teoria quântica permite-nos calcular o tamanho destas ondulações ou flutuações da bola de fogo original. Se inflacio-narmos essas pequenas ondulações quânticas, podemos calcular o número mínimo de ondulações que é possível ver no fundo de micro-ondas 380 000 anos após o big bang. (E se expandirmos essas ondulações até ao presente, encontraremos a distribuição actual de aglomerados de galáxias. A nossa galáxia teve origem numa dessas pequenas flutuações).

Inicialmente, um olhar superficial aos dados provenientes do satélite COBE não encontrou desvios ou flutuações no fundo de micro-ondas. Isto causou alguma ansiedade nos físicos porque um fundo de micro-ondas perfeitamente uniforme violaria não só a inflação mas toda a teoria

quântica, transgredindo o princípio da incerteza. Abalaria os alicerces da própria Física. Os fundamentos da física quântica do século xx teriam de ser todos demolidos.

Para grande alívio dos cientistas, um olhar meticulosamente pormenorizado aos dados computorizados provenientes do satélite COBE detectou um conjunto pouco nítido de ondulações, variações de temperatura de 1 parte em 100.000 - a quantidade mínima de desvio tolerada pela teoria quântica. Estas ondulações infinitesimais eram consistentes com a teoria inflacionária. Guth confessou: «Estou completamente fascinado pela radiação cósmica de fundo. O sinal era tão fraco que não foi detectado antes de 1965, e agora estão a ser medidas flutuações de 1 parte em 100.000.»[13]

Embora as provas experimentais reunidas fossem ligeiramente favoráveis à inflação, os cientistas ainda tinham de resolver o problema crítico do valor de Ω - o facto de n ser 0,3 e não 0,1.

SUPERNOVAS - O REGRESSO DE LAMBDA

Embora se tenha verificado que a inflação era coerente com os dados do COBE recolhidos pelos cientistas, na década de 1990 os astrónomos ainda pretextavam que a inflação violava flagrantemente os valores experimentais de Ω. A situação começou a mudar em 1998, em resultado dos dados provenientes de uma direcção completamente inesperada. Os astrónomos tentaram recalcular a taxa de expansão do Universo no passado distante. Em vez de analisar as Cefeides variáveis, como Hubble fizera na década de 1920, começaram a examinar as supernovas nas galáxias distantes, a milhares de milhões de anos-luz no passado. Examinaram particularmente as supernovas de tipo Ia que podem, de uma maneira ideal, ser usadas como candelas padrão.

Os astrónomos sabem que as supernovas deste tipo têm quase o mesmo brilho. (O brilho das supernovas de tipo Ia é tão bem conhecido

que até mesmo os pequenos desvios do seu brilho podem ser calibrados: quanto mais brilhante for a supernova, mais lentamente ela perde o seu brilho). Essas supernovas originam-se quando uma estrela anã branca num sistema binário absorve lentamente a matéria da estrela companheira. Alimentando-se dessa estrela, esta anã branca aumenta gradualmente a sua massa até pesar 1,4 massas solares, a massa máxima possível que uma anã branca pode atingir. Quando excedem este limite, colapsam e explodem numa supernova de tipo Ia. Este limiar é a razão pela qual as supernovas de tipo Ia têm um brilho tão uniforme - é o resultado natural das estrelas anãs brancas que atingem uma massa precisa e colapsam devido à gravidade. (Como Subrahmanyan Chandrasekhar mostrou em 1935, numa anã branca a força da gravidade que esmaga a estrela é equilibrada por uma força repulsiva entre os electrões, chamada «pressão de degenerescência dos electrões». Se uma estrela anã branca pesa mais de 1,4 massas solares,[14] então a

gravidade ultrapassa esta força e a estrela é esmagada, dando origem a uma supemova.) Como ocorreram supemovas distantes no Universo primitivo, analisando-as é possível calcular a taxa de expansão do Universo há milhares de milhões de anos.

Dois grupos independentes de astrónomos (liderados por Saul Perlmutter do Supemova Cosmology Project e Brian P. Schmidt do High-Z Supemova Search Team) esperavam descobrir que o Universo, embora ainda em expansão, estava a desacelerar gradualmente. Para várias gerações de astrónomos este era um artigo de fé, ensinado em todas as aulas de cosmologia -que a expansão original estava em desaceleração gradual.

Depois de analisada cerca de uma dezena de supernovas, descobriram que o Universo primitivo não se expandia tão rapidamente como se pensava (isto é, os desvios para o vermelho das supernovas e, por conseguinte, as suas velocidades eram mais pequenos do que inicialmente se

pensava). Comparando a taxa de expansão do Universo com a expansão actual, concluíram que a taxa de expansão é hoje relativamente maior. Para seu grande espanto, estes dois grupos chegaram à surpreendente conclusão de que o Universo está em aceleração, aumentando exponencialmente a velocidade de expansão.

E, para seu grande desalento, descobriram que era impossível ajustar os dados a qualquer valor de Ω. A única maneira de fazer com que os dados se ajustassem à teoria era reintroduzir A, a energia do vácuo, já introduzida por Einstein. Além do mais, descobriram que n era dominada por um A invulgarmente grande que fazia com que o Universo se acelerasse a uma taxa de expansão semelhante à de Sitter. Os dois grupos chegaram independentemente a esta conclusão surpreendente, mas hesitavam publicar as suas descobertas devido ao forte preconceito histórico de que o valor de A era zero. Como George Jacoby do Kitt's Peak Observatory disse: «A foi sempre um conceito a desconfiar e quem fosse

suficientemente louco para dizer que o seu valor não é zero era tratado como um lunático.»[15]

Schmidt recorda: «Eu ainda não queria acreditar, mas já tínhamos verificado tudo ... Estava muito relutante em informar as pessoas, porque eu pensava verdadeiramente que íamos ser massacrados.»[16] No entanto, quando os dois grupos publicaram simultaneamente os seus resultados em 1998, a grande montanha de dados que tinham reunido não podia ser facilmente menosprezada. A, «O maior erro» de Einstein, que tem sido quase completamente esquecido na moderna cosmologia, estava agora a ressurgir depois de noventa anos de obscurantismo!

Os físicos estavam confusos. Edward Witten, do Instituto de Estudos Avançados, em Princeton, disse que era «a mais estranha descoberta experimental desde que trabalho em Física.»[17] Quando o valor de Ω, 0,3, foi acrescentado ao valor de A, 0,7, a soma foi (a menos do erro experimental) igual a 1,0, a previsão da teoria inflacionária. Como um puzzle que é composto diante dos

nossos olhos, os cosmólogos estavam a reconhecer a peça que faltava à inflação. Veio do próprio vácuo.

O resultado foi espectacularmente confirmado pelos dados do satélite WMAP, que mostrou que a energia associada a A, ou energia negra, constitui mais de 73% de toda a matéria e energia do Universo, fazendo dela a peça dominante do quebra-cabeças.

FASES DO UNIVERSO

O maior contributo do satélite WMAP talvez tenha sido o facto de dar aos cientistas a confiança de que estão a caminho de um «modelo padrão» de cosmologia. Embora ainda existam enormes hiatos, os astrofísicos começam a esboçar uma teoria padrão que emerge dos dados. De acordo com a representação que estamos agora a considerar, a evolução do Universo processou-se em fases distintas à medida que arrefecia. A transição destas fases representa a quebra de uma simetria e a ruptura de uma força

da natureza. Eis as fases e os respectivos marcos, tal como hoje os conhecemos:

1. 10^{-43} segundo antes - era de Planck

Quase nada se sabe ao certo sobre a era de Planck. Na energia de Planck ($1O^{19}$ mil milhões de electrões-volt), a força gravitacional era tão forte como as outras forças quânticas. Consequentemente, as quatro forças do Universo estavam provavelmente unificadas numa única «superforça». Talvez o Universo existisse numa fase perfeita de «nulidade» ou espaço vazio de dimensões mais elevadas. A simetria misteriosa que mistura as quatro forças, sem alterar as equações, é muito provavelmente a «supersimetria» (para uma análise da supersimetria, ver capítulo 7). Por razões desconhecidas, esta simetria misteriosa que unificou as quatro forças foi quebrada e formou-se uma minúscula bolha, o nosso Universo embrionário, talvez como resultado de uma flutuação quântica aleatória. Esta bolha era do tamanho do «comprimento de Planck», que é 10^{-33} centímetros.

2. 10^{-43} segundo - era da GUT

A quebra de simetria ocorreu, criando uma bolha que se expandiu rapidamente. À medida que a bolha sofria a inflação, as quatro forças fundamentais separaram-se umas das outras. A gravidade foi a primeira força a separar-se das outras três, libertando uma onda de choque ao longo do Universo. A simetria original da super-força foi quebrada para uma simetria mais pequena, que provavelmente continha a simetria GUT SU(5). As restantes interacções forte, fraca e electromagnética estavam ainda unificadas por esta simetria da GUT. O Universo sofreu inflação por um factor enorme, talvez 10^{50}, durante esta fase, por razões que não estão ainda compreendidas, o que levou o espaço a expandir-se astronomicamente com velocidade superior à da luz. A temperatura era de 10^{32} graus.

3. 10^{-34} segundo - fim da inflação

A temperatura desceu para 10^{27} graus, quando a força forte se separou das outras duas forças. (O grupo de simetria GUT quebrou-se

dando lugar à SU(3) x SU(2) x U(I). O período inflacionário terminou, permitindo que o Universo caminhasse para uma expansão padrão de Friedmann. O Universo consistia num «caldo» de plasma quente de quarks livres, gluões e leptões. Os quarks livres condensaram-se nos protões e nos neutrões actuais. O nosso Universo ainda era muito pequeno, apenas do tamanho do sistema solar actual. A matéria e a antimatéria aniquilaram-se, mas o pequeno predomínio da matéria sobre a antimatéria que hoje verificamos à nossa volta deixou a matéria que actualmente vemos. (Este é o valor da energia que esperamos venha a duplicar nos próximos anos pelo acelerador Large Hadron Collider.)

4. 3 minutos - formação dos núcleos

As temperaturas desceram o bastante para que os núcleos se formassem sem serem separados pelo calor intenso. O hidrogénio fundiu-se em hélio (dando origem à actual proporção de 75% de hidrogénio e 25% de hélio). Formaram-se quantidades residuais de lítio, mas a fusão de

elementos mais altos parou, porque os núcleos com 5 partículas eram muito instáveis. O Universo era opaco, e a luz era dispersa pelos electrões livres. Isto marca o fim da bola de fogo primeva.

5. 380 000 anos - aparecimento dos átomos

A temperatura desceu para 3.000 kelvin. Os átomos formaram-se com os electrões em volta dos núcleos sem serem mais separados pelo calor. Os fotões podiam agora mover-se livremente, sem serem absorvidos. Esta é a radiação medida pelo COBE e pelo WMAP. O Universo, outrora opaco e cheio de plasma, tomou-se transparente. O céu deixou de ser branco e tomou-se negro.

6. 1 milhar de milhões de anos - condensação das estrelas

A temperatura desceu para 18 graus. Os quasares, as galáxias e os aglomerados de galáxias começaram a condensar-se sobretudo em consequência das minúsculas flutuações quânticas da bola de fogo original. As estrelas começaram a

«cozinhar» os elementos leves, como o carbono, o oxigénio e o azoto. As estrelas que explodiam cuspiam para os céus os elementos mais pesados do que o ferro. Esta é a era mais remota que pode ser sondada pelo telescópio espacial Hubble.

7. 6,5 mil milhões de anos - expansão de de Sitter

A expansão de Friedmann terminou gradualmente e o Universo começou a acelerar e a entrar numa fase de aceleração, chamada expansão de de Sitter, conduzida por uma misteriosa força de antigravidade que ainda não é compreendida.

8. 13,7 mil milhões de anos - hoje

O presente. A temperatura desceu para 2,7 graus. Vemos o Universo actual com galáxias, estrelas e planetas. Continua a acelerar de um modo descontrolado.

O FUTURO

Conquanto a inflação seja hoje a teoria capaz de explicar uma gama tão vasta de mistérios acerca do Universo, tal não prova que esteja correcta. (Além disso, foram recentemente propostas

teorias rivais, como veremos no capítulo 7.) O resultado da supemova tem de ser testado e voltado a testar, tomando em conta factores como a poeira e as anomalias na produção de supemovas. A prova decisiva que acabará por confirmar ou refutar o cenário inflacionário são as «ondas gravitacionais» que foram produzidas no instante do big bang. Estas ondas de gravidade, como o fundo de micro-ondas, ainda devem estar a repercutir-se através do Universo e podem ser descobertas por detectores apropriados, como veremos no capítulo 9. A inflação faz predições específicas acerca da natureza destas ondas gravitacionais, e esses detectores de ondas de gravidade deverão encontrá-las.

Mas uma das previsões mais intrigantes da inflação não pode ser directamente testada: a existência de «universos-bebé» num multiverso de universos, cada um dos quais obedece a um conjunto de leis físicas ligeiramente diferentes. Para compreender todas as implicações do multiverso, é importante compreender primeiro que a

inflação é a principal responsável pelas consequências bizarras das equações de Einstein e da teoria quântica. A teoria de Einstein aponta para a possibilidade de universos múltiplos e a teoria quântica dá-nos os meios que permitem estabelecer a ligação entre eles. E, num novo sistema, a teoria M, podemos encontrar a teoria final capaz de solucionar definitivamente estas questões acerca de universos paralelos e possíveis viagens no tempo.

PARTE II
O MULTIVERSO

CAPÍTULO CINCO
Portais Dimensionais e Viagens no Tempo

Dentro de cada buraco negro que colapsa pode estar a semente de um novo Universo em expansão.

Sir Martin Rees

Os buracos negros

podem ter pas- sagens para outros mun- dos. Se quisésse- mos mer- gulhar num buraco negro, poder- íamos reem- ergir, pensa- se, numa parte difer- ente do

Universo e noutra época do tempo ... Os buracos negros podem ser entradas para Países das Maravilhas. Mas haverá lá Alices e coelhos

bran-
cos?

Carl
Sagan

RELATIVIDADE GERAL é semelhante a um cavalo de Tróia. Aparentemente, a teoria é magnífica. Com poucas asserções, podemos obter as características gerais do cosmos, incluindo a curvatura da luz das estrelas e o próprio big bang, que foram medidos com uma precisão fantástica. Até mesmo a inflação pode ser ajustada, se introduzirmos no Universo primitivo uma constante cosmológica arbitrária. Estas soluções dão-nos a teoria mais convincente do nascimento e da morte do Universo.

Mas, escondidas dentro do cavalo, encontramos todas as espécies de demónios e de duendes, incluindo buracos negros, buracos brancos, buracos de verme e até máquinas do tempo, que desafiam o senso comum. Estas anomalias foram consideradas tão bizarras que o próprio Einstein pensava que nunca seriam encontradas na natureza. Durante anos, lutou energicamente

contra estas soluções estranhas. Hoje, sabemos que essas anomalias não podem ser facilmente menosprezadas. Constituem uma parte integrante da relatividade geral. E, de facto, podem mesmo ser uma tábua de salvação para qualquer ser inteligente que tenha de enfrentar o bigfreeze.

Talvez a mais estranha destas anomalias seja a possibilidade da existência de universos paralelos e de passagens entre eles. Se recordarmos a metáfora imaginada por Shakespeare de que todo o mundo é um palco, então a relatividade geral admite a possibilidade de alçapões. Mas, em vez de nos levarem à base, verificamos que os alçapões nos conduzem a palcos paralelos ao original. Suponha que o palco da vida consta de vários palcos onde se desenrolam múltiplas histórias, umas por cima das outras. Num dos palcos, os actores desempenham os seus papéis e caminham pelo cenário, pensando que o seu palco é o único, esquecidos da possibilidade da existência de realidades alternativas. No entanto, se um dia caírem acidentalmente num alçapão,

vão aparecer num palco completamente novo, regido por novas leis, novas regras e orientado por um novo guião.

Mas, se pode existir um número infinito de universos, será a vida possível em qualquer desses universos com leis físicas diferentes? É uma pergunta que Isaac Asimov fez na sua história clássica de ficção científica O Planeta dos Deuses, onde imaginou um Universo paralelo com uma força nuclear diferente da nossa. Surgem novas possibilidades intrigantes, quando as leis habituais da física são anuladas e substituídas por outras.

O enredo começa no ano 2070, quando um cientista, Frederick Hallam, nota que o tungsténio-186 comum está a transformar-se estranhamente num misterioso plutónio-186, que tem demasiados protões e deve ser instável. Hallam teoriza que este estranho plutónio-186 vem de um Universo paralelo onde a força nuclear é muito mais forte e, por isso, domina a repulsão dos protões. Como este estranho plutónio-186

liberta grandes quantidades de energia na forma de electrões, pode ser aproveitado para fornecer quantidades fabulosas de energia. Isto toma possível a célebre bomba de electrões de Hallam, que resolve a crise de energia da Terra, e que fará dele um homem rico. Mas há um preço a pagar. Se entrar no nosso Universo muito plutónio-186 alienígena, a força nuclear em geral aumentará de intensidade, o que significa que será libertada mais energia no processo de fusão e o Sol tomar-se-á mais brilhante e acabará por explodir, destruindo todo o sistema solar!

Entretanto, os alienígenas do Universo paralelo têm uma perspectiva diferente. O seu Universo está a morrer. A força nuclear é muito forte no seu universo, o que significa que as estrelas têm estado a consumir hidrogénio a uma taxa enorme e em breve morrerão. O plutónio186 desnecessário é enviado para o nosso Universo em troca do precioso tungsténio-186, que permite aos alienígenas criar a bomba de positrões, para salvar o seu mundo moribundo. Embora

compreendam que a força nuclear vá aumentar de intensidade no nosso Universo, fazendo explodir as nossas estrelas, não se importam nada com isso.

A Terra, ao que parece, está condenada ao desastre. A humanidade tomou-se dependente da energia de Hallam, recusando-se a acreditar que o Sol em breve explodirá. Outro cientista apresentou uma solução engenhosa para este enigma. Está convencido de que devem existir outros universos paralelos. Modifica com êxito um poderoso esmagador de átomos para criar um buraco no espaço que liga o nosso Universo a muitos outros. Procurando entre eles, acaba por encontrar um Universo paralelo que está vazio, tendo apenas um «ovo cósmico» que contém quantidades ilimitadas de energia, mas com uma força nuclear menos intensa.

Extraindo a energia deste ovo cósmico, ele pode criar uma nova bomba de energia e, ao mesmo tempo, enfraquecer a força nuclear no nosso Universo, evitando, assim, que o Sol

expluda. Há, no entanto, um preço a pagar: este novo Universo paralelo terá a sua força nuclear aumentada, o que provocará a sua explosão. Mas ele pensa que esta explosão apenas fará com que o ovo cósmico se desenvolva, originando um novo big bang. De facto, ele compreendeu que se vai transformar na parteira de um novo Universo em expansão.

A história de ficção científica de Asimov é uma das poucas que aplicam efectivamente as leis da física nuclear para tecer uma história de ambições, intrigas e salvação. Asimov tinha razão quando admitiu que a alteração da intensidade das forças no nosso Universo teria consequências desastrosas, que as estrelas do nosso Universo ficariam mais brilhantes e, em seguida, explodiriam, se a intensidade da força nuclear aumentasse. Isto suscita a questão inevitável: são os universos paralelos consistentes com as leis da física? Em caso afirmativo, o que será necessário para entrar num deles?

Para compreender estas questões, temos primeiro de perceber a natureza dos buracos de verme, a energia negativa e, evidentemente, esses objectos misteriosos chamados buracos negros.

BURACOS NEGROS

Em 1783, o astrónomo britânico John Michell foi o primeiro a interrogar-se sobre o que aconteceria se uma estrela se tomasse tão grande que a própria luz não pudesse escapar. Qualquer objecto, sabia ele, tinha uma «velocidade de escape», a velocidade necessária para se libertar da força gravitacional. (A velocidade de escape da Terra, por exemplo, é de 11 quilómetros por segundo, a velocidade que qualquer nave terá de atingir para se libertar da gravidade da Terra).

Michell queria saber o que podia acontecer se uma estrela se tornasse tão maciça que a sua velocidade de escape igualasse a velocidade da luz. A sua gravidade seria tão grande que nada poderia escapar dela, nem mesmo a própria luz e, por isso, o objecto pareceria negro a qualquer observador exterior. Encontrar esse objecto no espaço

seria, em certo sentido, impossível, uma vez que ele era invisível.

A questão das «estrelas escuras» de Michell foi largamente esquecida durante um século e meio. Mas o assunto reapareceu em 1916, quando Karl Schwarzschild, um físico alemão ao serviço do exército alemão na frente russa, descobriu uma solução exacta das equações de Einstein para uma estrela maciça. Ainda hoje, a solução de Schwarzschild é conhecida como a mais simples e elegante solução exacta das equações de Einstein. Eisntein ficou admirado por Schwarzschild ter encontrado solução para as suas complicadas equações tensoriais, enquanto fugia da artilharia inimiga. Ficou igualmente surpreendido com o facto de a solução de Schwarzschild ter propriedades particulares.

A solução de Schwarzschild, à distância, podia representar a gravidade de uma estrela comum e Einstein rapidamente usou essa solução para calcular a gravidade em volta do Sol e verificar os seus cálculos anteriores, nos quais tinha

feito aproximações. Por isto, estava eternamente grato a Schwarzschild, mas, no segundo artigo, este mostrava que, em redor de uma estrela muito maciça, havia uma imaginária «esfera mágica» com propriedades bizarras. Esta «esfera mágica» era o ponto sem retomo. Quem passasse através da «esfera mágica» seria imediatamente sugado pela gravidade para a estrela, não voltando a ser visto. Nem mesmo a luz podia escapar, se caísse nessa esfera. Schwarzschild não percebeu que estava a redescobrir a estrela negra de Michell através das equações de Einstein.

Em seguida, calculou o raio desta esfera mágica (o chamado raio de Schwarzschild). Para um objecto do tamanho do nosso Sol, a esfera mágica tem cerca de 3 quilómetros. (O raio de Schwarzschild da Terra tem cerca de um centímetro.) Isto significava que, se o Sol fosse comprimido para além de 3 quilómetros, transformar-se-ia numa estrela negra e devoraria qualquer objecto que passasse esse ponto sem retomo.

Experimentalmente, a existência da esfera mágica não levantava problemas, uma vez que era impossível reduzir o Sol a uma esfera com menos de 3 quilómetros de raio. Não se conhecia nenhum mecanismo que criasse uma estrela tão fantástica. Mas, teoricamente, foi um desastre. Embora a teoria da relatividade geral de Einstein pudesse conduzir a resultados brilhantes, como a curvatura da luz das estrelas a passar perto do Sol, a teoria não fazia sentido quando nos aproximávamos da esfera mágica, onde a gravidade se toma infinita.

O físico holandês Joahnnes Droste mostrou então que a solução era ainda mais arrojada. De acordo com a relatividade, os feixes de luz, mostrou ele, inclinar-se-iam pronunciadamente quando orbitassem o objecto. Na realidade, a 1,5 vezes o raio de Schwarzschild, os feixes de luz orbitam, de facto, em círculos em volta da estrela. Droste mostrou que as distorções do tempo encontradas na relatividade geral em redor destas estrelas maciças eram muito piores do que as que

foram encontradas na relatividade restrita. Mostrou que, à medida que nos aproximássemos desta esfera mágica, um observador à distância diria que os nossos relógios estavam a trabalhar cada vez mais lentamente, até que paravam, quando a atingíssemos. De facto, um observador do exterior diria que estávamos parados no tempo, quando atingíssemos a esfera mágica. Como o próprio tempo pararia neste ponto, alguns físicos acreditaram que um objecto tão bizarro não poderia existir na natureza. Para tomar tudo ainda mais interessante, o matemático Herman Weyl mostrou que, se alguém investigasse o mundo no interior da esfera mágica, parecer-lhe-ia haver outro Universo desse lado.

Tudo isto era tão fantástico que nem mesmo Einstein podia acreditar. Em 1922, numa conferência em Paris, Einstein foi interrogado pelo matemático Jacques Hadamard sobre o que aconteceria se esta «singularidade» fosse real, isto é, se a gravidade se tornasse infinita no raio de Schwarzschild. Einstein respondeu: «Seria um

verdadeiro desastre para a teoria; e seria muito difícil dizer a priori o que podia acontecer fisicamente, porque a fórmula já não se aplica.»[1] Einstein, mais tarde, chamar-lhe-ia o «desastre de Hadamard». Mas ele pensava que toda esta controvérsia em volta das estrelas escuras era pura especulação. Em primeiro lugar, nunca ninguém tinha visto um objecto tão bizarro, e talvez esses objectos não existissem, isto é, não eram físicos. Além disso, uma pessoa poderia ser esmagada até à morte, se caísse num deles. E, uma vez que ninguém pode passar através da esfera mágica (visto que o tempo pára), nunca ninguém poderia entrar neste Universo paralelo.

Na década de 1920, os físicos estavam bastante perplexos com esta questão. Mas, em 1932, Georges Lemaitre, o pai da teoria do big bang, fez uma importante descoberta. Mostrou que a esfera mágica não era nenhuma singularidade onde a gravidade se tornasse infinita; era apenas uma ilusão matemática causada pela escolha de um referencial matemático pouco

feliz. (Se alguém escolhesse um conjunto diferente de coordenadas ou de variáveis para examinar a esfera mágica, a singularidade desaparecia).

Partindo deste resultado, o cosmólogo H. P. Robertson reexaminou o resultado original de Droste segundo o qual o tempo pára na esfera mágica. Descobriu que o tempo apenas parava na perspectiva de um observador que vê uma nave espacial entrar na esfera mágica. Da perspectiva da própria nave, apenas seria necessária uma pequena fracção de segundo para que a gravidade sugasse o indivíduo para a esfera mágica. Por outras palavras, um viajante do espaço que tivesse a infelicidade de passar através da esfera mágica seria esmagado até à morte quase instantaneamente, mas, para um observador do exterior, o processo pareceria demorar milhares de anos.

Este foi um resultado importante. Significava que a esfera mágica era atingível e já não podia ser ignorada sob pretexto de ser uma monstruosidade matemática. Era preciso considerar seriamente o que podia acontecer, se alguém passasse

através da esfera mágica. Os físicos calcularam então como poderia ser uma viagem através desta esfera. (Hoje, a esfera mágica denomina-se horizonte de eventos. O horizonte refere-se ao ponto mais distante que podemos ver. Aqui refere-se ao ponto mais longínquo que a luz pode atingir. O raio do horizonte de eventos chama-se raio de Schwarzschild.)

À medida que nos aproximássemos de um buraco negro numa nave espacial, veríamos a luz que foi capturada há milhares de milhões de anos pelo buraco negro, que remonta ao tempo em que o próprio buraco negro foi criado. Por outras palavras, a história da vida do buraco negro ser-nos-ia revelada. À medida que nos aproximássemos, as forças das marés deformariam gradualmente os átomos do corpo, até os núcleos dos átomos ficarem como esparguete. A viagem através do horizonte de eventos seria uma viagem de sentido único, porque a gravidade seria tão intensa que seríamos inevitavelmente sugados para o centro, onde seriamos esmagados até à morte.

Uma vez dentro do horizonte de eventos, não haveria regresso. (Para abandonar o horizonte de eventos, seria preciso viajarmos mais depressa do que a luz, o que é impossível.)

Em 1939, Einstein escreveu um artigo onde tentou ignorar estas estrelas escuras, alegando que elas não podiam ser formadas por processos naturais. Começou por supor que uma estrela se forma a partir de um conjunto rodopiante de poeira, gás e destroços que giram numa esfera, juntando-se gradualmente graças à gravidade. Mostrou então que este conjunto de partículas rodopiantes nunca sofreria o colapso até ao raio de Schwarzschild e, por isso, nunca se transformaria num buraco negro. Na melhor das hipóteses, esta massa rodopiante de partículas aproximar-se-ia de 1,5 vezes o raio de Schwarzschild e, assim, os buracos negros nunca se formariam. (Para se contrair abaixo de 1,5 vezes o raio de Schwarzschild, as partículas teriam de mover-se mais depressa do que a luz, o que é impossível.) «O resultado essencial desta investigação é uma compreensão

clara da razão pela qual as 'singularidades de Schwarzschild' não existem na realidade física»,[2] escreveu Einstein.

Também Arthur Eddington colocou sérias reservas aos buracos negros e, durante muito tempo, não quis acreditar na sua existência. Disse uma vez que «devia haver uma lei natural para impedir que uma estrela se comportasse desta maneira tão absurda.»[3]

Ironicamente, no mesmo ano, J. Robert Oppenheimer (que mais tarde construiria a bomba atómica) e o seu aluno Hartland Snyder mostraram que um buraco negro podia, de facto, formar-se por meio de um outro mecanismo. Em vez de admitirem que um buraco negro resultava de um conjunto rodopiante de partículas que sofrem o colapso sob o efeito da gravidade, usaram como ponto de partida uma estrela antiga e maciça que esgotou a sua reserva nuclear e que implode sob o efeito da força da gravidade. Por exemplo, uma estrela gigante, no fim da sua vida, com quarenta vezes a massa do Sol pode esgotar

a sua reserva nuclear e ser comprimida pela gravidade até ao seu raio de Schwarzschild de 130 quilómetros e, nesse caso, sofrerá inevitavelmente o colapso num buraco negro. Os buracos negros, sugeriram eles, não só eram possíveis como seriam o produto final de milhares de milhões de estrelas gigantes que morrem na Galáxia. (Talvez a ideia de implosão, proposta em 1939 por Oppenheimer, lhe tenha dado a inspiração para o mecanismo de implosão usado na bomba atómica poucos anos depois).

PONTE DE EINSTEIN-ROSEN

Embora Einstein pensasse que os buracos negros eram demasiado incríveis para existirem na natureza, mostrou ironicamente que ainda eram mais estranhos do que se pensava, admitindo a possibilidade de existirem buracos de verme no coração de um buraco negro. Os matemáticos chamam-lhes espaços multiplamente conectados. Os físicos chamam-lhes buracos de verme, porque, tal como um verme que escava a terra, criam um atalho entre dois pontos.

Por vezes, chamamlhes portais dimensionais ou portões. O que quer que lhes chamemos, podem, um dia, providenciar os meios para as viagens interdimenscionais.

A primeira pessoa a popularizar os buracos de verme foi Charles Dodgson que escreveu sob o pseudónimo de Lewis Carroll. Em Alice do Outro Lado do Espelho, utilizou o buraco de verme como um espelho que liga os campos de Oxford ao País das Maravilhas. Como matemático profissional e dignitário de Oxford, Dodgson estava familiarizado com estes espaços multiplamente conexos. Por definição, um espaço multiplamente conexo é um espaço onde um laço não pode ser reduzido a um ponto. Geralmente, qualquer laço pode colapsar facilmente num ponto. Mas, se observarmos um donut, verificamos que é possível colocar o laço na sua superfície de modo a rodear o buraco do donut. À medida que colapsarmos lentamente o laço, verificaremos que ele não pode ser comprimido num

ponto; quando muito, pode ser reduzido à circunferência do buraco.

Os matemáticos ficaram deliciados com o facto de terem descoberto um objecto que era completamente inútil para descrever o espaço.

Mas, em 1935, Einstein e o seu aluno Nathan Rosen introduziram os buracos de verme no mundo da Física. Tentavam usar a solução do buraco negro como um modelo das partículas elementares. Einstein nunca gostou desta ideia, que remontava a Newton, segundo a qual a gravidade de uma partícula se tomava infinita à medida que nos aproximássemos dela. Esta «singularidade», pensou Einstein, devia ser removida, uma vez que não fazia sentido.

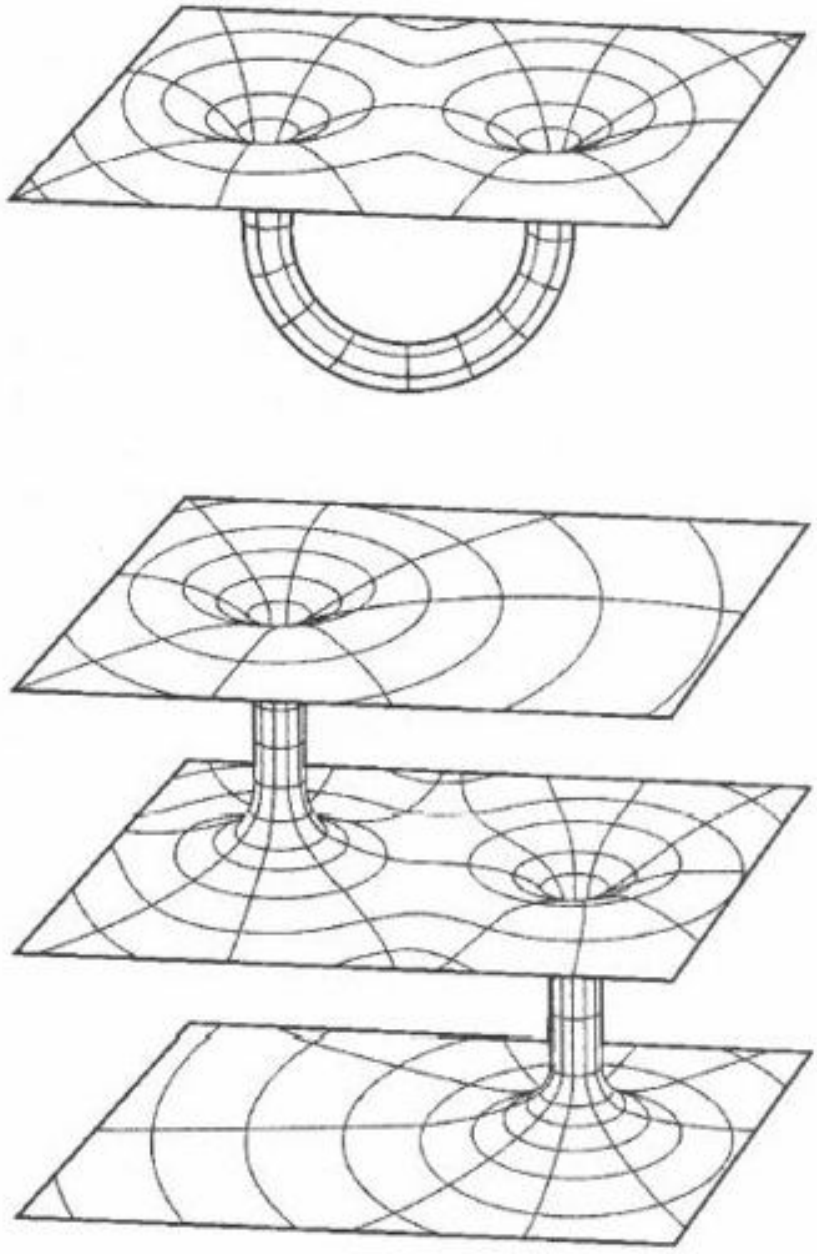
Einstein e Rosen tiveram a ideia inédita de representar um electrão (que era, em geral, pensado como um minúsculo ponto sem qualquer estrutura) como um buraco negro. Deste modo, a relatividade geral podia ser usada para explicar os mistérios do mundo quântico numa teoria do campo unificado. Começaram com a solução do

buraco negro padrão, que se assemelha a uma enorme garrafa com um gargalo comprido. Depois, cortaram o gargalo e fundiram-no com outra solução do buraco negro voltada do avesso. Para Einstein esta configuração estranha, mas regular, estaria livre da singularidade na origem do buraco negro e podia actuar como um electrão.

Infelizmente, a ideia de Einstein de representar um electrão como um buraco negro fracassou. Mas hoje os cosmólogos especulam que a ponte de Einstein-Rosen pode actuar como uma passagem entre dois universos. Podíamos mover-nos quase livremente num Universo até cairmos acidentalmente num buraco negro, pelo qual seríamos imediatamente sugados para emergirmos no outro lado (através de um buraco branco).

Para Einstein, qualquer solução das suas equações, desde que as condições iniciais fossem físicamente plausíveis, devia corresponder a um objecto físicamente possível. Mas não estava preocupado com o facto de alguém poder cair num buraco negro e entrar num Universo paralelo. As

forças de maré tomar-se-iam infinitas no centro e uma pessoa suficientemente infeliz para cair num buraco negro veria os seus átomos serem rasgados pelo campo gravitacional. (A ponte de Einstein-Rosen abre momentaneamente, mas fecha-se tão rapidamente que nenhum objecto pode passar através dela a tempo de chegar ao outro lado.) A atitude de Einstein era que, embora os buracos de verme pudessem existir, as criaturas vivas não poderiam passar através deles e sobreviver para contar a sua experiência.



A ponte de Einstein-Rosen. No centro de um buraco negro, há um «gargalo» que liga o espaço-tempo a outro Universo ou a outro ponto do nosso Universo. Embora viajar através de um buraco negro estacionário seja fatal, os buracos negros em rotação têm uma singularidade semelhante a um anel, que pode permitir passar através dele e através da ponte de Einstein-Rosen, embora isto ainda não passe de especulação.

BURACOS NEGROS EM ROTAÇÃO

Em 1963, contudo, esta situação começou a modificar-se quando o matemático neozelandês Roy Kerr encontrou uma solução exacta da equação de Einstein que descreve talvez a estrela moribunda mais realista, um buraco negro em rotação. Devido à conservação do momento angular, quando uma estrela colapsa sob o efeito da gravidade, ela gira mais rapidamente. (É por esta mesma razão que as galáxias em rotação parecem cataventos e que os skaters giram mais depressa quando baixam os braços). Uma estrela em rotação podia colapsar num anel de neutrões, que se manteria estável devido à intensa força centrífuga para o exterior, que anula a força da gravidade para o interior. A característica surpreendente de tal buraco negro era que, se alguém caísse no buraco negro de Kerr, não seria esmagado até morrer. Em vez disso, seria completamente sugado para um Universo paralelo através da ponte de Einstein-Rosen - «passe através deste anel mágico e - pronto! -está num Universo completamente diferente onde o raio e a massa são

negativos!» [4] exclamou Kerr a um colega, quando descobriu esta solução.

A estrutura do espelho de Alice, por outras palavras, era semelhante ao anel rotativo de Kerr. Mas qualquer viagem através do anel de Kerr seria uma viagem de sentido único. Se quiséssemos passar através do horizonte de eventos que rodeia o anel de Kerr, a gravidade não seria suficiente para nos esmagar até à morte, mas seria suficiente para impedir uma viagem de regresso através do horizonte de eventos. (O buraco negro de Kerr, na realidade, tem dois horizontes de eventos. Alguns especularam que poderia ser preciso um segundo anel de Kerr, que ligasse o Universo paralelo ao nosso, para regressar). Em certo sentido, um buraco negro de Kerr pode ser comparado com um elevador num arranha-céus. O elevador representa a ponte de Einstein-Rosen, que liga diferentes andares, onde cada andar corresponde a um Universo diferente. De facto, há um número infinito de andares neste arranha-céus, todos diferentes uns dos outros. Mas o

elevador pode não voltar a descer. Há apenas um botão «para subir». Uma vez que se saia de um andar, ou de um Universo, não haverá retomo, porque ter-se-á passado um horizonte de eventos.

Os físicos estão divididos quanto à estabilidade de um anel de Kerr. Alguns cálculos sugerem que, se alguém tentar passar através do anel, a presença da pessoa desestabilizará o buraco negro e a passagem fechar-se-á. Se um feixe de luz, por exemplo, passar pelo buraco de Kerr aumentará muito a sua energia quando cair no centro e sofrerá um desvio para o azul -isto é, aumentará de frequência e de energia. Quando se aproxima do horizonte, tem tanta energia que matará quem tente passar através da ponte de Einstein-Rosen. Também produzirá o seu próprio campo gravitacional, que interferirá com o buraco negro original, talvez destruindo a passagem.

Por outras palavras, embora alguns físicos acreditem que o buraco negro de Kerr é o mais real de todos os buracos negros e que pode, de

facto, ligar universos paralelos, não é claro se será seguro entrar na ponte ou se a entrada será estável.

OBSERVAR BURACOS NEGROS

Devido às propriedades bizarras dos buracos negros, na década de 1990 a sua existência era ainda considerada ficção científica. «Há dez anos, se encontrasse no centro de uma galáxia um objecto que pensasse ser um buraco negro, metade das pessoas julgaria que eu não estava bom da cabeça»,[5] observou o astrónomo Douglas Richstone da Universidade de Michigan, em 1998. Desde então, os astrónomos identificaram várias centenas de buracos negros no espaço exterior através do telescópio espacial Hubble, do telescópio espacial de raios X Chandra (que recolhe emissões de raios X provenientes de poderosas fontes estelares e galácticas) e o Very Large Array Radio Telescope (que consiste numa série de poderosos radiotelescópios no Novo México). Muitos astrónomos acreditam, com efeito, que a

maior parte das galáxias que vemos nos céus (que têm protuberâncias no centro dos seus discos) contêm buracos negros no centro.

Como se previa, todos os buracos negros encontrados no espaço estão a rodar muito rapidamente; alguns têm sido cronometrados pelo telescópio espacial Hubble e a sua rotação é de um milhão e seiscentos mil quilómetros por hora, aproximadamente. No centro, pode ver-se um núcleo plano, circular, muitas vezes com cerca de um ano-luz de diâmetro. Dentro desse núcleo, fica o horizonte de eventos e o próprio buraco negro.

Como os buracos negros são invisíveis, os astrónomos têm de usar meios indirectos para verificar a sua existência. Nas fotografias tentaram identificar o «disco de acreção» de gás rodopiante que rodeia o buraco negro. Os astrónomos tiraram belas fotografias destes discos de acreção.

(Estes discos são quase universalmente encontrados na maior parte dos objectos que giram

mais rapidamente no Universo. É provável que o nosso Sol tenha tido um disco semelhante a rodeá-lo quando se formou há 4,5 mil milhões de anos, e que, mais tarde, se condensou nos planetas. Estes discos formam-se porque representam o estado mais baixo de energia para um objecto que gira tão rapidamente.) Usando as leis do movimento de Newton, os astrónomos podem calcular a massa do objecto central conhecendo a velocidade das estrelas que o orbitam. Se a massa do objecto central tem uma velocidade de escape igual à velocidade da luz, então a própria luz pode escapar, fornecendo uma prova indirecta da existência de um buraco negro.

O horizonte de eventos situa-se no centro do disco de acreção. (É, infelizmente, demasiado pequeno para ser identificado com a tecnologia actual. O astrónomo Fulvio Melia alega que capturar o horizonte de eventos de um buraco negro e filmá-lo é o «Santo Graal» da ciência dos buracos negros.) Nem todo o gás que cai no interior de um buraco negro passa através do horizonte de

eventos. Parte dele passa ao lado do buraco negro e afasta-se dele a grandes velocidades, sendo ejectado para o espaço e formando dois longos jactos de gás que emanam dos pólos norte e sul do buraco negro. Isto dá ao buraco negro a aparência de um pião em rotação. (Os jactos são emitidos desta maneira provavelmente porque as linhas do campo magnético da estrela que sofre o colapso se concentram acima dos pólos norte e sul, à medida que se tomam mais intensas. Enquanto a estrela continua a colapsar, estas linhas do campo magnético condensam-se em dois tubos que emanam dos pólos norte e sul. Quando as partículas ionizadas caem na estrela que sofreu o colapso, seguem estas estreitas linhas de força magnética e são ejectadas como jactos através dos campos magnéticos polares norte e sul.)

Foram identificados dois tipos de buracos negros. O primeiro é o buraco negro estelar, no qual a gravidade esmaga uma estrela moribunda até ela implodir. O segundo, no entanto, é detectado mais facilmente. São os buracos negros

galácticos, que se ocultam no centro de enormes galáxias e quasares e têm uma massa de milhões ou mesmo milhares de milhões de massas solares.

Recentemente, um buraco negro foi conclusivamente identificado no centro da Via Láctea. Infelizmente, nuvens de poeira escurecem o centro galáctico; se não fosse assim, uma enorme bola de fogo seria visível para nós, na Terra, todas as noites, proveniente da constelação do Sagitário. Sem a poeira, é provável que o centro da nossa galáxia emitisse mais luz do que a Lua, transformando-a no objecto mais brilhante do céu noctumo. Mesmo no centro desse núcleo galáctico, encontra-se um buraco negro cuja massa é de cerca de 2,5 milhões de massas solares. Quanto ao seu tamanho, é cerca de um décimo do raio da órbita de Mercúrio. De acordo com os padrões galácticos, este não é um buraco negro particularmente maciço; os quasares podem conter buracos negros cuja massa é de vários milhares de milhões de massas solares. O buraco

negro do nosso quintal está actualmente bastante mais tranquilo.

O seguinte buraco negro galáctico mais próximo fica no centro da galáxia Andrómeda, a mais próxima da Terra. Pesa 30 milhões de massas solares e o seu raio de Schwarzschild tem cerca de 100 milhões de quilómetros. (No centro de Andrómeda, ficam pelo menos dois objectos maciços, provavelmente os restos de uma galáxia anterior, que foi devorada pela Andrómeda há milhares de milhões de anos. Se a Via Láctea acabar por colidir com Andrómeda daqui a milhares de milhões de anos, como parece provável, talvez a nossa galáxia seja sugada para o «estômago» da Andrómeda.)

Uma das mais belas fotografias de um buraco negro galáctico foi tirada pelo telescópio espacial Hubble a galáxia NGC 4261. No passado, as imagens dos radiotelescópios desta galáxia mostraram dois jactos muito graciosos cuspidos dos pólos norte e sul da galáxia, mas ninguém conhecia o mecanismo subjacente. O telescópio

Hubble fotografou o centro da galáxia, revelando um bonito disco com cerca de 400 anos-luz de diâmetro. Mesmo no seu centro estava um minúsculo ponto contendo o disco de acreção, de cerca de um ano-luz de diâmetro. O buraco negro no centro, que não podia ser visto pelo telescópio Hubble, tem uma massa de aproximadamente 1,2 mil milhões de massas solares.

Os buracos negros galácticos como este são tão poderosos que podem consumir estrelas inteiras. Em 2004, a NASA e a Agência Espacial Europeia anunciaram que tinham detectado um enorme buraco negro numa galáxia distante devorando de um só trago uma estrela. O telescópio Chandra de raios X e o satélite europeu XMM-Newton observaram ambos o mesmo fenómeno: uma emissão de raios X enviada da galáxia RX J1242-II, assinalando que uma estrela tinha sido engolida pelo enorme buraco negro do seu centro. A massa deste buraco negro tinha sido estimada em 100 milhões de vezes a massa do Sol. Os cálculos mostraram que, quando uma estrela

chega muito perto do horizonte de eventos de um buraco negro, a enorme gravidade distorce e estende a estrela até ela se romper, emitindo uma significativa emissão de raios X. «Esta estrela foi estendida para além do seu ponto de ruptura. Esta infeliz seguiu o caminho erradm>,[6] observou a astrónoma Stefanie Komossa do Instituto Max Planck em Garching, na Alemanha.

A existência de buracos negros ajudou a resolver muitos mistérios antigos. A galáxia M-87, por exemplo, foi sempre uma curiosidade para os astrónomos, porque parecia uma bola maciça de estrelas da qual emergia uma estranha «cauda». Como emitia grandes quantidades de radiação, os astrónomos pensaram que esta cauda representava um fluxo de antimatéria. Mas hoje, os astrónomos descobriram que recebe energia de um enorme buraco negro que pesa talvez 3 mil milhões de vezes mais. Acredita-se hoje que a estranha cauda é um gigantesco jacto de plasma que está a fluir para fora e não para dentro dessa galáxia.

Uma das descobertas mais espectaculares relativas aos buracos negros verificou-se quando o telescópio Chandra de raios X conseguiu perscrutar através de um pequeno buraco na poeira do espaço exterior para observar um conjunto de buracos negros perto da fronteira do Universo visível. Ao todo, podem ser vistos 600 buracos negros. Extrapolando a partir destes dados, os astrónomos calcularam que há, pelo menos, 300 milhões de buracos negros em todo o céu nocturno.

EXPLOSÕES DE RAIOS GAMA

Os buracos negros acima mencionados têm talvez alguns milhares de milhões de anos de idade. Mas os astrónomos têm agora a rara oportunidade de assistir à formação de buracos negros mesmo diante dos seus olhos. Alguns deles são provavelmente as misteriosas explosões de raios gama que libertam a maior quantidade de energia do Universo. As enormes explosões de raios gama aparecem logo a seguir ao big bang do ponto de vista da energia que libertam.

As explosões de raios gama têm uma história curiosa que remonta à Guerra Fria. Nos fins da década de 1960, os Estados Unidos receavam que a União Soviética, ou outro país, pudesse detonar secretamente uma bomba nuclear, talvez numa região deserta da Terra ou mesmo na Lua, violando os tratados existentes. Deste modo, os Estados Unidos lançaram o satélite Vela, com a finalidade de localizar detonações não autorizadas de bombas nucleares. Como uma detonação nuclear se desenrola em fases distintas, microsegundo a microsegundo, cada detonação produz um clarão duplo característico que pode ser visto por satélite. (O satélite Vela captou dois clarões na década de 1970, ao largo da costa de Prince Edward Island, perto da África do Sul, junto a navios de guerra israelitas, que ainda estão a ser estudados pelos serviços secretos.)

Mas o que alarmou o Pentágono foi que o satélite Vela estava a captar sinais de enormes explosões nucleares no espaço. Estaria a União Soviética a detonar secretamente bombas de

hidrogénio no espaço exterior, usando uma tecnologia avançada, ainda desconhecida? Receando que os soviéticos pudessem ter ultrapassado os Estados Unidos em tecnologia bélica, os mais reputados cientistas foram encarregados de analisar estes sinais tão preocupantes.

Depois da dissolução da União Soviética, não foi preciso manter classificada esta informação, pelo que o Pentágono lançou uma enorme montanha de dados astronómicos no mundo da Astronomia. Pela primeira vez em décadas, foi revelado um fenómeno astronómico completamente novo, de imenso poder e alcance. Os astrónomos depressa compreenderam que estas explosões de raios gama, como lhes chamavam, tinham uma potência gigantesca, libertando em segundos toda a energia produzida pelo nosso Sol durante toda a história da sua vida (cerca de 1O mil milhões de anos). Mas estes eventos também estavam a desaparecer; outrora detectados pelo satélite Vela, tinham enfraquecido tanto que os telescópios desse tempo, localizados na Terra,

que estavam apontados na sua direcção, nada podiam ver no seu rasto. (As explosões, na sua maior parte, duravam 1 a 10 segundos, mas a mais curta durava 0,01 segundos e algumas demoravam alguns minutos.)

Hoje, os telescópios espaciais, os computadores e as equipas que dão respostas rápidas mudaram a nossa capacidade para detectar explosões de raios gama. Cerca de três vezes por dia, são detectadas explosões de raios gama, estabelecendo uma complexa cadeia de eventos. Logo que um satélite detecta a energia de uma explosão, os astrónomos, através dos computadores, localizam rapidamente as suas coordenadas precisas e apontam mais telescópios e sensores na direcção precisa.

Os dados fornecidos por estes instrumentos revelaram resultados verdadeiramente surpreendentes. No coração destas explosões de raios gama situa-se um objecto que, muitas vezes, apenas tem poucas dezenas de quilómetros de diâmetro. Por outras palavras, a incrível

potência cósmica das explosões de raios gama está concentrada numa área do tamanho de Nova Iorque, por exemplo. Durante anos, os principais candidatos a estes eventos eram estrelas de neutrões que colidiam em sistemas de estrelas binárias. De acordo com esta teoria, quando a órbita de uma destas estrelas de neutrões diminuía ao longo do tempo e quando ela seguia uma espiral de morte, acabava por colidir e libertar uma enorme quantidade de energia. Estes eventos são extremamente raros, mas como o Universo é tão grande, e como estas explosões iluminam todo o Universo, elas deviam ser vistas várias vezes ao dia.

Mas, em 2003, as provas que os cientistas obtiveram sugeriam que as explosões de raios gama são o resultado de uma «hipernova» que cria um buraco negro maciço. Focando rapidamente os telescópios e os satélites na direcção das explosões de raios gama, os cientistas descobriram que se assemelhavam a uma supernova maciça. Como a estrela que explode tem um enorme

campo magnético e ejecta radiação através das suas direcções polares norte e sul, parece por vezes que a supernova tem mais energia do que na realidade tem -isto é, apenas observamos estas explosões se apontarem directamente para a Terra, dando a falsa impressão de que são mais poderosas do que, de facto, são.

Se as explosões de raios gama resultam, de facto, de buracos negros em formação, então a próxima geração de telescópios espaciais deve ser capaz de os analisar com grande pormenor e talvez permita responder a algumas das questões mais complexas acerca do espaço e do tempo. Concretamente, os buracos negros podem curvar o espaço até este adquirir a forma de um biscoito; também poderão curvar o tempo?

MÁQUINA DO TEMPO DE VAN STOCKUM

A teoria de Einstein liga o espaço e o tempo numa unidade indissociável. Consequentemente, qualquer buraco de verme que ligue dois pontos distantes no espaço também pode ligar dois

pontos distantes no tempo. Por outras palavras, a teoria de Einstein permite viajar no tempo.

O próprio conceito de tempo evoluiu ao longo dos séculos. Para Newton o tempo era como uma seta; uma vez atirada, nunca mudava o seu curso e viajava infalível e uniformemente em direcção ao alvo. Depois, Einstein introduziu o conceito de tempo deformado, pelo que o tempo era como um rio que corria mais depressa ou mais devagar enquanto serpenteava. Mas Einstein preocupou-se com a possibilidade de o rio do tempo poder inclinar-se para trás sobre si próprio. Talvez houvesse remoinhos ou bifurcações no rio do tempo.

Em 1937, esta possibilidade foi compreendida quando W. J. van Stockum encontrou uma solução para as equações de Einstein que permitia as viagens no tempo. Começou com um cilindro gigante em rotação. Embora não seja possível construir um objecto infinito, imaginou que, se esse cilindro girasse à velocidade da luz, ou muito próximo dela, arrastaria consigo a

estrutura do espaço-tempo, de modo muito idêntico àquele com que o melaço é mexido com as lâminas de uma batedeira eléctrica. (A isto chama-se arrastamento do referencial e tem sido experimentalmente visto em fotografias pormenorizadas de buracos negros em rotação.)

Uma pessoa suficientemente corajosa para viajar em redor do cilindro seria arrastada, atingindo velocidades fantásticas. De facto, um observador à distância poderia pensar que excedia a velocidade da luz. Embora o próprio van Stockum não o tivesse compreendido, se se fizesse uma viagem completa em tomo do cilindro, era certamente possível retroceder no tempo, voltando a um momento anterior à partida. Se se partisse ao meio-dia, quando se voltasse ao ponto de partida, por exemplo, podiam ser 6 da tarde do dia anterior. Quanto mais depressa o cilindro girasse, mais longe recuaria no passado (o único limite é que não poderia retroceder a um tempo anterior ao da criação do próprio cilindro).

Como o cilindro é uma espécie de mastro, sempre que girasse em volta do pólo, retrocederia cada vez mais longe no passado. É evidente que era possível ignorar essa solução, porque os cilindros não podem ser infinitamente longos. Por outro lado, se fosse possível construir um cilindro destes, as forças centrífugas exercidas sobre o cilindro seriam enormes, porque ele giraria a uma velocidade próxima da velocidade da luz, e estilhaçariam a matéria do cilindro.

UNIVERSO DE GÖDEL

Em 1949, Kurt Gõdel, o grande lógico matemático, encontrou uma solução ainda mais estranha das equações de Einstein. Pressupôs que todo o Universo estava em rotação. Como o cilindro de Van Stockum, o indivíduo é arrastado para cima pela natureza viscosa do espaço-tempo.

Um foguete espacial que girasse em tomo do Universo de Gõdel voltaria ao ponto de partida, mas num tempo anterior.

No Universo de Gõdel, uma pessoa pode, em princípio, viajar entre quaisquer dois pontos do

espaço e do tempo ou no Universo. Todos os acontecimentos podem ser revisitados em qualquer momento, independentemente da sua distância no passado. Devido à gravidade, há uma tendência para o Universo de Gõdel colapsar sobre si próprio. Por isso, a força centrífuga da rotação tem de equilibrar esta força da gravidade. Por outras palavras, o Universo tem de girar sobre si mesmo para além de uma determinada velocidade. Quanto maior for o Universo, maior será a sua tendência para colapsar e mais depressa terá de girar para evitar o colapso.

Para um Universo do tamanho do nosso, por exemplo, Gõdel calculou que cada rotação completa duraria 70 mil milhões de anos e o raio mínimo para a viagem no tempo seria de 16 mil milhões de anos-luz. Contudo, para viajar para trás no tempo, teríamos de viajar com velocidade inferior à da luz.

Gõdel conhecia bem os paradoxos que poderiam resultar desta solução - a possibilidade de se encontrar a si próprio no passado e alterar o

curso da história. «Fazendo uma viagem numa nave espacial, numa trajectória suficientemente grande, é possível viajar nestes mundos para qualquer região do passado, do presente e do futuro e voltar de novo, tal como é possível noutros momentos viajar para regiões remotas do espaço», escreveu. «Este estado de coisas parece implicar um absurdo, porque permite que uma pessoa viaje para o passado em lugares onde ela própria viveu. Então poderia encontrar aí uma pessoa que seria ela própria num período anterior da sua vida. Agora podia fazer qualquer coisa a essa pessoa que, de acordo com a sua memória, sabe que não lhe sucedeu.»[7]

Einstein ficou profundamente perturbado com a solução encontrada pelo seu amigo e vizinho no Institute for Advanced Study em Princeton. A sua resposta é bastante elucidativa: O ensaio de Kurt Gõdel constitui, na minha opinião, um importante contributo para a teoria da relatividade geral, particularmente para a análise do conceito de tempo. O problema aqui em causa já me preocupou

quando construía a teoria da relatividade geral, sem ter conseguido clarificá-lo ... A distinção «mais cedo ou mais tarde» é abandonada em pontos do Universo que estão muito longe num sentido cosmológico, e de acordo com a direcção da conexão casual, surgem esses paradoxos de que o Sr. Gõdel falou... Seria interessante ponderar se devem ser excluídos em bases físicas.[8]

A resposta de Einstein é interessante por duas razões. Em primeiro lugar, admitiu que a possibilidade de viajar no tempo o preocupou quando formulou a teoria da relatividade geral. Como o espaço e o tempo são tratados como um pedaço de borracha que pode curvar-se e deformar-se, Einstein pensou que a estrutura do espaço-tempo se deformaria tanto que as viagens no tempo podiam ser possíveis. Em segundo lugar, excluiu a solução de Gõdel com fundamento em «bases tisicas» - isto é, o Universo não gira, expande-se.

Quando Einstein morreu, já era do conhecimento geral que as suas equações permitiam fenómenos estranhos (viagens no tempo, buracos

de verme). Mas ninguém lhes dedicou muita atenção, porque os cientistas sentiam que esses fenómenos não podiam ser compreendidos. O consenso geral era que estas soluções não tinham base no mundo real, que quem tentasse alcançar um Universo paralelo através de um buraco negro morreria, que o Universo não gira e que não é possível construir cilindros infinitos, tomando as viagens no tempo uma simples questão académica.

MÁQUINA DO TEMPO DE THORNE

A questão das viagens no tempo ficou adormecida durante trinta e cinco anos até 1985, quando o astrónomo Carl Sagan escreveu o romance Contacto e quis arquitectar uma forma de a heroína viajar até à estrela Vega. Seria necessária uma viagem de ida e volta, que permitisse à heroína viajar até Vega e regressar à Terra, o que não seria possível através dos buracos de verme do tipo dos buracos negros. Pediu conselho ao físico Kip Thorne. Thorne tinha chocado o mundo da Física quando encontrou novas

soluções para as equações de Einstein que permitiam viajar no tempo eliminando muitos dos problemas anteriores. Em 1988, com os seus colegas Michael Morris e Ulvi Yurtsever, Thome mostrou que se podia construir uma máquina do tempo, se fosse possível obter formas estranhas de matéria e de energia, como «matéria exótica» e «energia negativa». Os físicos começaram por ficar cépticos com esta nova solução, visto que ninguém ainda tinha visto esta matéria exótica e a energia negativa apenas existe em quantidades muito pequenas. Mas representou uma ruptura na nossa compreensão das viagens no tempo.

A grande vantagem da matéria negativa e da energia negativa é que constituem um buraco de verme que se pode atravessar, e que permite uma viagem de ida e volta através dele sem preocupações com os horizontes de eventos. De facto, o grupo de Thome descobriu que uma viagem numa dessas máquinas do tempo, podia ser muito agradável, se a compararmos com os incómodos voos comerciais.

Um problema, contudo, é que a matéria exótica (ou matéria negativa) tem propriedades extraordinárias. Ao contrário da antimatéria (que se sabe que existe e muito provavelmente cai sob o efeito do campo gravitacional da Terra), a matéria negativa sobe flutuando na gravidade da Terra, porque possui antigravidade. É repelida e não atraída pela matéria comum e por outra matéria negativa. Isto significa que também é muito dificil encontrá-la na natureza, se é que existe. Quando a Terra se formou, há 4,5 mil milhões de anos, alguma matéria negativa da Terra teria flutuado para o espaço exterior. Assim, a matéria negativa talvez pudesse estar a flutuar no espaço, longe dos planetas. (Provavelmente, a matéria negativa nunca colidiria com uma estrela ou com um planeta, uma vez que é repelida pela matéria comum.)

Embora a matéria negativa nunca tenha sido vista (e é bem possível que não exista), a energia negativa é físicamente possível, mas extremamente rara. Em 1933, Henrik Casimir mostrou

que duas lâminas de metal paralelas e sem carga podem criar energia negativa. Normalmente, poder-se-ia esperar que duas lâminas permanecessem estacionárias, porque não têm carga. No entanto, Casimir mostrou que há uma pequena força atractiva entre estas duas lâminas paralelas sem carga. Em 1948, esta pequena força foi realmente medida, mostrando que a energia negativa era, de facto, uma possibilidade. (O efeito de Casimir explora uma característica bastante bizarra do vácuo. De acordo com a teoria quântica, o espaço vazio está cheio de «partículas virtuais» que oscilam para dentro e para fora do nada. Esta violação do princípio de conservação da energia é possível devido ao princípio da incerteza de Heisenberg, que permite a violação de leis clássicas, desde que ocorram muito brevemente. Por exemplo, um electrão e um antielectrão, devido à incerteza, têm uma pequena probabilidade de serem criados a partir do nada e, em seguida, aniquilarem-se um ao outro. Como as placas paralelas estão muito próximas uma da

outra, estas partículas virtuais não podem facilmente encontrar-se entre as duas lâminas. Assim, como há mais partículas virtuais em redor das lâminas do que entre elas, isto cria uma força do exterior para o interior que empurra ligeiramente as duas lâminas paralelas uma contra a outra. Este efeito foi medido com precisão em 1996 por Steven Lamoreaux, no Laboratório National de Los Alamos. A força atractiva que ele mediu era pequena (igual ao peso de 1/30.000 de uma formiga). Quanto mais pequena for a separação entre as lâminas, maior será a força de atracção.

Era assim que a máquina do tempo imaginada por Thome podia operar. Uma civilização avançada começaria com duas lâminas paralelas, separadas por um intervalo muito pequeno. Estas lâminas paralelas serão então transformadas numa esfera, constituída por uma camada interior e uma camada exterior. Então, fariam duas dessas esferas ligadas por um buraco de verme, de modo a que um túnel no espaço conectasse as duas

esferas. Cada esfera encerra agora uma boca do buraco de verme.

Normalmente, o tempo é síncrono em ambas as esferas. Mas, se pusermos uma esfera numa nave espacial lançada com uma velocidade próxima da velocidade da luz, o tempo medido nessa nave desacelera, pelo que as duas esferas deixarão de estar sincronizadas no tempo. Na nave, o relógio anda muito mais lentamente do que o relógio na Terra. Por isso, se alguém saltar para a esfera da Terra pode ser sugado através do buraco de verme que os liga e pode ir parar à outra nave espacial algures no passado. (No entanto, esta máquina do tempo não nos pode levar para um tempo anterior ao da criação da própria máquina.)

PROBLEMAS COM ENERGIA NEGATIVA

Embora a solução de Thome tivesse causado sensação quando foi anunciada, havia sérios obstáculos à sua concretização, mesmo para uma civilização avançada. Primeiro, é preciso obter

grandes quantidades de energia negativa, que é muito rara. Este tipo de buraco de verme depende de uma grande quantidade de energia negativa para manter aberta a boca do buraco de verme. Se se criar energia negativa através do efeito de Casimir, que é muito pequeno, o buraco de verme teria de ser muito menor do que um átomo, tomando impossível viajar através do buraco de verme. Há outras fontes de energia negativa para além do efeito de Casimir, mas são todas muito difíceis de manipular. Por exemplo, osfísicos Paul Davies e Stephen Fulling mostraram que um espelho que se mova rapidamente pode criar energia negativa que se acumula à frente do espelho quando ele se move. Infelizmente, é preciso mover o espelho quase à velocidade da luz para obter energia negativa. E, tal como o efeito de Casimir, a energia gerada é pequena.

Outra maneira de extrair energia negativa consiste em usar feixes de laser de alta potência. Dentro dos estados de energia do laser, há «estados comprimidos» em que coexistem a energia

negativa e a energia positiva. No entanto, este efeito também é muito dificil de manipular. Um pulso típico de energia negativa pode durar 10-15 segundo, seguido de um pulso de energia positiva. É possível separar os estados de energia positiva dos estados de energia negativa, embora seja extremamente dificil. Voltarei a este assunto no capítulo 11.

Finalmente, verifica-se que um buraco negro também tem energia negativa, nas proximidades do seu horizonte de eventos. Como Jacob Bekenstein e Stephen Hawking mostraram,[9] um buraco negro não é perfeitamente negro, porque liberta lentamente a sua energia. Isto acontece porque o princípio da incerteza permite a construção de um túnel de radiação enorme que foge à gravidade de um buraco negro. Mas, como um buraco negro que se evapora perde energia, o horizonte de eventos toma-se cada vez menor com o tempo. Geralmente, se for lançada matéria positiva (como uma estrela) para o interior de um buraco negro, o horizonte de eventos expandir-se-á.

Mas, se lançarmos matéria negativa para o buraco negro, o seu horizonte de eventos contrairse-á. Assim, a evaporação do buraco negro cria energia negativa perto do horizonte de eventos. (Alguns defenderam que, se se colocasse a boca do buraco de verme nas proximidades do horizonte de eventos, receberia energia negativa. Contudo, seria extraordinariamente dificil e perigoso armazenar essa energia, uma vez que é preciso estar muito perto do horizonte de eventos).

Hawking mostrou que, em geral, a energia negativa é necessária para estabilizar todas as soluções de buracos de verme. O raciocínio é muito simples. Geralmente, a energia positiva pode criar uma abertura de um buraco de verme que concentra matéria e energia. Assim, os raios de luz convergem quando entram na boca do buraco de verme. Contudo, se estes raios de luz emergirem do outro lado, então algures no centro do buraco os raios de luz desfocar-se-ão, o que só pode acontecer se estiver presente energia negativa. Além disso, a energia negativa é repulsiva, o

que é necessário para evitar que o buraco negro colapse sob o efeito da gravidade. Assim, a chave para construir uma máquina do tempo ou um buraco de verme pode ser encontrar quantidades suficientes de energia negativa para manter a boca aberta e estável. (Alguns físicos mostraram que, na presença de grandes campos gravitacionais, os campos de energia negativa são bastante comuns. Assim, talvez um dia a energia gravitacional possa ser usada para fazer andar uma máquina do tempo.)

Outro obstáculo a esta máquina do tempo é o seguinte: onde encontrar um buraco de verme? Thome acreditava que os buracos de verme ocorriam naturalmente, naquilo a que se chama a espuma do espaço-tempo. Esta ideia remonta a uma questão colocada pelo filósofo grego Zenão há cerca de dois mil anos: qual é a mais pequena distância que se pode percorrer?

Zenão provou matematicamente que era impossível atravessar um rio. Começou por observar que a distância de uma margem do rio à outra

pode ser subdividida num número infinito de pontos. Mas como é necessária uma quantidade infinita de tempo para atravessar um número infinito de pontos era, por conseguinte, impossível atravessar o rio. Ou seja, era impossível que qualquer objecto se movesse. (Seriam necessários outros dois mil anos e o aparecimento do cálculo para que, finalmente, este enigma ficasse resolvido. É possível mostrar que um número infinito de pontos pode ser atravessado num tempo finito, o que toma o movimento matematicamente possível.)

John Wheeler, de Princeton, analisou as equações de Einstein para encontrar a distância mais curta. Wheeler descobriu que, em distâncias incrivelmente pequenas, da ordem do comprimento de Planck (10^{-33} cm), a teoria de Einstein previa que a curvatura do espaço podia ser muito grande. Por outras palavras, no comprimento de Planck, o espaço não era uniforme, mas tinha uma grande curvatura -isto é - estava cheio de pregas e era «espumoso». O

espaço fica cheio de protuberâncias e de bolhas minúsculas que entram e saem do vácuo. Mesmo o espaço vazio, nas mais pequenas distâncias, está constantemente a ferver com pequenas bolhas de espaço-tempo, que são, na realidade, minúsculos buracos de verme e universos-bebé. Normalmente, as «partículas virtuais» consistem em pares de electrão e antielectrão que ganham existência momentaneamente antes de se aniquilarem uma à outra. Mas, na distância de Planck, pequenas bolhas que representam universos inteiros e buracos de verme podem ganhar existência, para voltarem a desvanecer-se no vácuo. O nosso próprio Universo pode ter começado como uma dessas pequenas bolhas que flutuam na espuma do espaço-tempo e que subitamente sofreu inflação por razões que não compreendemos.

Uma vez que os buracos de verme se encontram naturalmente na espuma, Thome presumiu que uma civilização avançada podia de algum modo tirar buracos de verme da espuma e, em seguida, expandi-los e estabilizá-los com energia

negativa. Embora este seja um processo muito difícil, cai dentro das leis da física.

Conquanto a máquina do tempo de Thome pareça teoricamente possível, embora extremamente difícil de construir do ponto de vista da engenharia, há uma terceira questão incómoda: as viagens no tempo violam alguma lei fundamental da física?

UM UNIVERSO NO SEU QUARTO

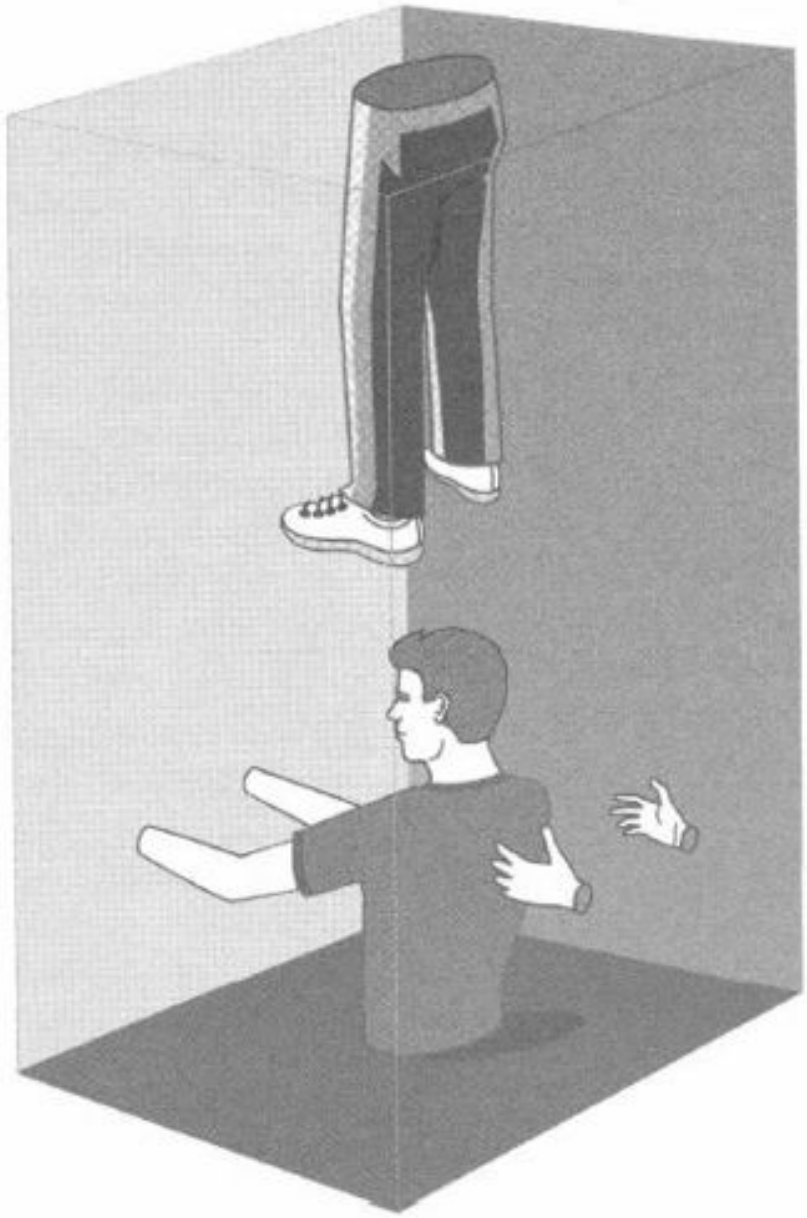
Em 1992, Stephen Hawking tentou resolver esta questão das viagens no tempo de uma vez por todas. Instintivamente, era contra as viagens no tempo; se as viagens no tempo fossem tão comuns como os piqueniques ao domingo, então veríamos turistas vindos do futuro que nos olhariam com estranheza e nos tirariam fotografias.

Mas os físicos citam muitas vezes o romance épico de T. H. White O Rei Que Foi e Um Dia Será, onde uma sociedade de formigas declara: «Tudo o que não é proibido é obrigatório»[10]. Por outras palavras, se não há um princípio básico da

física que proíba as viagens no tempo, então as viagens no tempo são necessariamente uma possibilidade física. (A razão disto é o princípio da incerteza. A menos que uma coisa seja proibida, os efeitos e as flutuações quânticas acabarão por tomá-la possível, desde que esperemos o suficiente. Assim, a menos que haja uma lei que a proíba, ela acabará por ocorrer.) Em resposta, Stephen Hawking propôs uma «hipótese de protecção de cronologia» que impediria as viagens no tempo e «tomaria a História segura para os historiadores». De acordo com esta hipótese, as viagens no tempo não são possíveis, porque violam princípios físicos específicos.

Como é muito dificil trabalhar com as soluções de buracos de verme, Hawking iniciou o seu argumento analisando um Universo simplificado, descoberto por Charles Misner, da Universidade de Maryland, que tinha todos os ingredientes das viagens no tempo. O espaço de Misner é um espaço idealizado em que o seu quarto, por exemplo, se transforma no Universo

inteiro. Suponhamos que todos os pontos da parede esquerda do quarto são idênticos aos pontos correspondentes da parede da direita. Isto significa que, se caminharmos para a parede esquerda, não ficaremos com o nariz a sangrar, mas passaremos através da parede para reaparecermos pela parede da direita. Isto significa que as paredes direita e esquerda se juntaram, em certo sentido, como num cilindro.



Num espaço de Misner, todo o Universo está contido num quarto. As paredes opostas identificam-se todas umas com as outras, pelo que, ao atravessarmos uma parede, vamos emergir imediatamente da parede oposta. O tecto também se identifica com o soalho. O espaço de Misner é muitas vezes estudado, porque tem a mesma tipologia que um buraco de verme, mas é muito mais simples de tratar matematicamente. Se as paredes se moverem, então as viagens no tempo serão possíveis no Universo de Misner.

Além disso, os pontos na parede da frente são idênticos aos pontos da parede de trás, e os

pontos do tecto são idênticos aos pontos do soalho. Assim, se caminharmos em qualquer direcção, passaremos através das paredes do quarto e voltaremos ao quarto. Não é possível escapar. Por outras palavras, o quarto é verdadeiramente todo o Universo!

O que é deveras bizarro é que, se observarmos cuidadosamente a parede esquerda, veremos que ela é, na realidade, transparente e que, no outro lado dessa parede, há uma cópia do quarto. De facto, há um clone exacto de si mesmo no outro quarto, embora apenas possa ver a sua parte de trás e nunca a parte da frente. Se o indivíduo olhar para cima ou para baixo, também pode ver cópias de si próprio. Com efeito, há uma sequência infinita de indivíduos à frente, atrás, em baixo e em cima.

O indivíduo muito dificilmente poderá estabelecer contacto consigo próprio. Cada vez que volta a cabeça para olhar o rosto dos clones, verifica que eles também se voltaram e, por isso, nunca poderá ver o seu rosto. Mas se o quarto for

suficientemente pequeno, o indivíduo pode passar a mão através da parede e agarrar o ombro do clone que está à sua frente. Então, pode ficar surpreendido ao verificar que o clone atrás de si também agarrou o seu ombro. Por outro lado, pode agarrar com a mão direita e com a esquerda, segurando os clones que estão ao seu lado, até haver uma sequência infinita de indivíduos dando as mãos uns aos outros. Com efeito, deu uma volta completa ao Universo para se agarrar a si mesmo. (Não é aconselhável fazer mal aos clones. Se pegar numa arma e a apontar ao clone que está à sua frente, deverá pensar duas vezes antes de disparar o gatilho, porque o clone que está atrás de si também lhe aponta uma arma!)

Suponhamos que, no espaço de Misner, as paredes à nossa volta estão a colapsar. Agora, as coisas tomam-se muito interessantes. Digamos que o quarto está a ser comprimido e a parede da direita se está a aproximar de nós a 3 quilómetros por hora. Se agora caminharmos através da parede à esquerda, voltaremos para trás da parede

da direita que se move, mas a mais de 3 quilómetros por hora, pelo que estamos a viajar agora a 4,5 quilómetros por hora. De facto, cada vez que fazemos um circuito completo para a parede esquerda, ganhamos um impulso adicional de 3 quilómetros por hora para emergirmos da parede da direita; estamos agora a viajar a 9 quilómetros por hora. Depois de algumas viagens em torno do Universo, viajamos a 9, 12, 15 quilómetros por hora, até nos aproximarmos gradualmente de velocidades incríveis próximas da velocidade da luz.

Num determinado ponto crítico, estamos a viajar tão depressa no Universo de Misner que retrocedemos no tempo. De facto, podemos visitar qualquer ponto anterior do espaço-tempo. Hawking analisou cuidadosamente este espaço de Misner. Verificou que a parede da direita e a parede da esquerda, matematicamente falando, são quase idênticas às duas bocas de um buraco de verme. Por outras palavras, o quarto parece um buraco de verme, onde a parede esquerda e a

parede direita são a mesma, semelhantes a duas bocas de um buraco de verme, que também são idênticas.

Então, salientou que este espaço de Misner era instável, quer do ponto de vista clássico quer do ponto de vista quântico. Se se apontar um raio de luz à parede da esquerda, por exemplo, o feixe de luz ganha energia sempre que emerge da parede da direita. O feixe de luz sofre um desvio para o azul - isto é, torna-se mais energético, até atingir energia infinita, o que é impossível. Ora, o feixe de luz toma-se tão energético que cria um campo gravitacional monstruoso, que faz colapsar o quarto/buraco de verme. Assim, o buraco de verme sofre o colapso se tentarmos caminhar através dele. Por outro lado, pode mostrar-se que uma coisa chamada tensor de energia-momento, que mede o conteúdo de energia e de matéria do espaço, se toma infinita, porque a radiação pode passar um número infinito de vezes através das duas paredes.

Para Hawking este foi o golpe de misericórdia nas viagens no tempo - os efeitos de radiação quântica aumentam até se tomarem infinitos, criando uma divergência, matando o viajante do tempo e fechando o buraco de verme.

O artigo de Hawking que levantou a questão da divergência suscitou uma prolongada polémica na literatura da Física, levando os cientistas a tomarem posições a favor e contra a cronologia de protecção. De facto, alguns físicos começaram a encontrar falhas nas provas de Hawking escolhendo adequadamente os buracos de verme, alterando o seu comprimento, o seu tamanho, etc. Verificaram que, em algumas soluções de buracos de verme, o tensor de energia-momento divergia, de acto, mas noutros estava bem definido. O físico russo Sergei Krasnikov examinou esta questão da divergência em diferentes tipos de buracos de verme e concluiu que «não há a menor prova que possa sugerir que a máquina do tempo tenha de ser instável.»[11]

Levantaram-se tantas vozes contra Hawking que o físico de Princeton Li-Xin Li chegou a propor uma conjectura de protecção de anticronologia: «Não há nenhuma lei da física que impeça o aparecimento de curvas fechadas de tipo tempo.»[12]

Em 1998, Hawking foi forçado a recuar. Escreveu: «O facto de o tensor de energia-momento não divergir [em certos casos] mostra que a reacção para trás não obriga à protecção de cronologia.» Isto não significa que seja possível viajar no tempo, mas apenas que a nossa compreensão ainda é incompleta. O físico Matthew Visser afirma que a falha de conjectura de Hawking «não é uma justificação para os entusiastas das viagens no tempo, mas mostra que, para resolver o problema da protecção de cronologia, é necessária uma teoria de gravidade quântica completamente desenvolvida »[13]

Hoje, Hawking já não diz que seja completamente impossível viajar no tempo, mas apenas que é muito improvável e impraticável. Embora a

probabilidade de viajar no tempo seja muito pequena, não podemos excluir completamente essa hipótese. Se for possível, de algum modo, aproveitar grandes quantidades de energia positiva e negativa e resolver o problema da estabilidade, as viagens no tempo poderão, de facto, tomar-se realidade. (E talvez a razão pela qual não estamos inundados de turistas vindos do futuro seja o facto de não ser possível recuar a um tempo anterior ao da invenção da máquina do tempo e de essa máquina ainda não ter sido criada.)

MÁQUINA DO TEMPO DE GOTT

Em 1991, J. Richard Gott III, de Princeton, propôs uma outra solução das equações de Einstein que permitia as viagens no tempo. A sua abordagem era interessante e inovadora, porque abandonava completamente objectos em rotação, buracos de verme e energia negativa.

Gott nasceu em Louisville, no Kentucky, em 1947, e ainda tem um leve sotaque do sul que parece um pouco exótico no mundo fechado e

agressivo da física teórica. Começou a interessar-se pela ciência quando era criança, quando entrou num clube amador de Astronomia e se deliciava a observar as estrelas.

Quando frequentava o liceu, venceu o prestigiado concurso Westinghouse Science Talent Search e, desde então, esteve ligado a este concurso, como presidente do júri, durante muitos anos. Depois de se licenciar em Harvard em Matemática, foi para Princeton, onde ainda trabalha.

Quando fazia investigação em cosmologia, interessou-se pelas «cordas cósmicas», um resto do big bang, previsto por muitas teorias. As cordas cósmicas podem ser menos espessas do que um núcleo atómico, mas a sua massa pode ser estelar e podem estender-se por muitos milhões de anos-luz no espaço. Gott encontrou uma solução das equações que permitia as cordas cósmicas, mas percebeu que elas tinham uma característica invulgar. Se pegarmos em duas cordas cósmicas e as lançarmos uma contra a outra,

imediatamente antes de colidirem, é possível usá-las como uma máquina do tempo. Em primeiro lugar, descobriu que, se fizesse uma viagem de ida e volta em tomo das cordas cósmicas que colidem, o espaço contraía-se, conferindo-lhe propriedades estranhas. Sabemos que, se nos movermos em redor de uma mesa, por exemplo, e voltarmos ao ponto de partida, teremos percorrido 360 graus. Mas, quando um foguetão viaja em tomo das duas cordas cósmicas que passam uma pela outra percorre, na realidade, menos de 360 graus, porque o espaço se contraiu. (Este tem a tipologia de um cone. Se dermos uma volta completa em redor de um cone, também verificamos que percorremos menos de 360 graus.) Assim, passando rapidamente em volta de ambas as cordas, podemos, de facto, exceder a velocidade da luz (na perspectiva de um observador distante), uma vez que a distância total era menor do que se esperava. No entanto, isto não viola a relatividade restrita porque, no nosso quadro de

referência, o foguetão nunca excede a velocidade da luz.

Mas isto também significa que, se viajarmos em volta das cordas cósmicas que colidem, podemos fazer uma viagem ao passado. Gott relembra: «Quando encontrei esta solução, fiquei muito entusiasmado. A solução usava apenas matéria de densidade de energia positiva, movendo-se a uma velocidade inferior à da luz. Ao contrário, as soluções de buraco de verme exigem matéria de densidade de energia negativa mais exótica (matéria que pesa menos que nada).»[14]

Mas a energia necessária para uma máquina do tempo é enorme. «Para permitir as viagens ao passado, as cordas cósmicas com densidade linear de cerca de 10 milhões de milhares de milhões de toneladas por centímetro devem mover-se em direcções opostas a velocidades de pelo menos 99,999999996% da velocidade da luz. Observámos protões de alta energia no Universo que se movem pelo menos a esta velocidade;

portanto, estas velocidades são possíveis»,[15] observa.

Alguns críticos sublinharam que as cordas cósmicas (se é que existem) são raras, e as cordas cósmicas que colidem são ainda mais raras. Deste modo, Gott fez a seguinte proposta: uma civilização avançada pode encontrar uma única corda cósmica no espaço exterior. Com naves espaciais gigantescas e instrumentos enormes, é possível transformar a corda num arco rectangular ligeiramente inclinado (semelhante à forma de uma cadeira de encosto). O arco, conjecturou ele, pode colapsar sob o efeito da sua própria gravidade, pelo que duas partes rectas da corda cósmica podiam passar uma perto da outra, com velocidades próximas da velocidade da luz, criando por instantes uma máquina do tempo. Não obstante, Gott admite: «Um arco em colapso, de uma corda suficientemente grande para permitir que se dê uma volta completa em seu redor e retroceder um ano no tempo, teria de ter mais do que metade da massaenergia de uma galáxia inteira».[16]

PARADOXOS DO TEMPO

Tradicionalmente, outra razão que levou os físicos a menosprezarem a ideia das viagens no•tempo foram os paradoxos do tempo. Por exemplo, se uma pessoa retroceder no tempo e matar os seus pais, antes de ter nascido, o seu nascimento será impossível. Por isso, não pode voltar atrás no tempo para matar os seus pais. Isto é importante, porque a ciência baseia-se em ideias logicamente coerentes; um paradoxo do tempo genuíno seria suficiente para excluir completamente a possibilidade das viagens no tempo.

Estes paradoxos do tempo podem agrupar-se em várias categorias:

Paradoxo do avô. Neste paradoxo, altera-se o passado de modo a tomar o presente impossível. Por exemplo, recuando ao passado remoto, para procurar os dinossáurios, encontramos acidentalmente um pequeno mamífero peludo que é o verdadeiro antepassado da humanidade. Se destruirmos esse antepassado, não poderemos, logicamente, existir.

Paradoxo da informação. Neste paradoxo, a informação vem do futuro, o que significa que talvez não tenha origem. Por exemplo, suponhamos que um cientista cria uma máquina do tempo e depois recua no tempo para dar o segredo das viagens no tempo a si próprio, quando era jovem. O segredo das viagens no tempo não terá origem, uma vez que a máquina do tempo que o jovem cientista possui não foi criada por ele, mas foi-lhe transmitida por si próprio quando era mais velho.

Paradoxo de Bilker. Neste tipo de paradoxo, uma pessoa sabe qual será o futuro e faz qualquer coisa que toma esse futuro impossível. Por exemplo, faz uma máquina do tempo que o leve para o futuro e verifica que está desti nado a casar com uma mulher chamada Jane. Contudo, decide casar com outra mulher, chamada Helen, tomando, assim, o futuro impossível.

Paradoxo sexual. Neste tipo de paradoxo, um indivíduo é pai de si mesmo, o que é uma impossibilidade biológica. Num conto escrito pelo

filósofo britânico Jonathan Harrison, o herói da história não só é pai de si próprio como também se come a si mesmo. Na história clássica de Robert Heinlein Ali you Zombies, o herói é simultaneamente mãe, pai, filha e filho de si próprio - isto é, uma árvore genealógica completa (ver mais pormenores nas notas). A compreensão do paradoxo sexual é, na realidade, bastante delicada, pois requer conhecimento das viagens no tempo e do funcionamento do ADN.)[17]

Em O Fim da Eternidade, Isaac Asimov imagina uma «polícia do tempo» cuja tarefa é impedir estes paradoxos. Os filmes Exterminador assentam num paradoxo de informação - um microchip recuperado de um robô vindo do futuro é estudado pelos cientistas, que então produzem uma raça de robôs que se toma consciente e que se apodera do mundo. Por outras palavras, esses super-robôs nunca foram concebidos por um inventor; resultaram simplesmente de uma peça dos destroços deixados por um dos robôs do futuro. No filme Regresso ao Futuro, Michael J. Fox

tenta evitar um paradoxo do avô quando recua no tempo e encontra a sua mãe, então uma adolescente, que rapidamente se apaixona por ele. Mas, se ela rejeitar o futuro pai de Fox, a sua existência está ameaçada.

Os guionistas violam propositadamente as leis da física, quando produzem os blockbusters de Hollywood. Mas, na comunidade da Física, esses paradoxos são levados muito a sério. Qualquer solução para estes paradoxos tem de ser compatível com a relatividade e com a teoria quântica. Por exemplo, para ser compatível com a relatividade, o rio do tempo não pode ter fim. Não é possível impedir o curso do tempo. Na relatividade geral o tempo é representado por uma superficie uniforme e contínua que não pode ser agitada ou rasgada. A topologia pode ser alterada, mas o curso do tempo não pode parar. Isto significa que, se uma pessoa matar os seus pais antes de ter nascido, não pode simplesmente desaparecer, pois as leis da física seriam violadas.

Actualmente, os físicos agrupam-se em tomo de duas soluções possíveis para estes paradoxos. Primeiro, o cosmólogo russo lgor Novikov acredita que somos obrigados a actuar de maneira a que não ocorram paradoxos. Esta abordagem chama-se escola de autoconsistência. Se o rio do tempo se inclinar uniformemente para trás sobre si próprio e criar um redemoinho, ele sugere que alguma «mão invisível» interviria impedindo que saltássemos para o passado e criássemos um paradoxo do tempo. Mas a abordagem de Novikov apresenta problemas com o livrearbítrio. Se retrocedermos no tempo e encontrarmos os nossos pais antes de termos nascido, podemos pensar que temos livre-arbítrio para actuarmos; Novikov acredita que uma lei da física ainda por descobrir impede qualquer acção que possa modificar o futuro (tal como matar os pais ou impedir o próprio nascimento). Observa ele: «Não podemos enviar um viajante do tempo para o Jardim do Éden pedir a Eva que não colha a maçã da árvore».[18]

Qual é a força misteriosa que nos impede de alterar o passado e criar um paradoxo? «Esse constrangimento ao livre-arbítrio é invulgar e misterioso, mas não é único», escreveu. «Por exemplo, eu posso querer passear no tecto sem a ajuda de qualquer equipamento especial. A lei da gravidade impede-me de o fazer; cairei, se tentar, pelo que o meu livrearbítrio é restrito».[19]

Mas os paradoxos do tempo podem ocorrer quando a matéria inanimada (que não tem qualquer livre-arbítrio) é lançada para o passado. Suponhamos que, antes da batalha histórica entre Alexandre, o Grande, e Dário III da Pérsia, em 330 a. C., enviamos armas automáticas com instruções sobre o modo de as usar. Consequentemente, alteraríamos todo o curso subsequente da história da Europa (e podíamos estar hoje a falar um dialecto persa em vez de uma língua europeia).

De facto, a mais pequena perturbação no passado pode causar paradoxos inesperados no presente. A teoria do caos, por exemplo, usa a

metáfora do «efeito de borboleta». Em momentos cruciais da formação das condições climatéricas da Terra, até mesmo a vibração das asas de uma borboleta provoca ondas que podem romper o equilíbrio de forças e desencadear uma poderosa tempestade. Mesmo os mais pequenos objectos inanimados enviados para o passado mudarão inevitavelmente o passado de forma imprevisível, dando origem a um paradoxo do tempo.

A segunda maneira de resolver o paradoxo do tempo ocorre se o rio do tempo bifurcar em dois rios, formando dois universos distintos. Por outras palavras, se quiséssemos recuar no tempo e matar os nossos pais antes de termos nascido, mataríamos pessoas que são geneticamente as mesmas que os nossos pais, num Universo alternativo, no qual nunca teríamos nascido. Mas os nossos pais, no nosso Universo original, não seriam afectados.

Esta segunda hipótese chama-se «teoria de muitos mundos» - a ideia de que talvez existam todos os mundos quânticos possíveis. Esta

hipótese elimina as divergências infinitas encontradas por Hawking[20], uma vez que a radiação não passa muitas vezes pelo buraco de verme como no espaço de Misner. Passa apenas uma. Cada vez que passa através do buraco de verme, entra num novo Universo. E este paradoxo coloca talvez a questão mais profunda da teoria quântica: como pode um gato estar morto e vivo ao mesmo tempo?

Para responder a esta questão, os físicos têm sido obrigados a considerar duas soluções ultrajantes: ou há uma consciência cósmica que nos observa a todos ou há um número infinito de universos quânticos.

CAPÍTULO SEIS
Universos Quânticos Paralelos

Penso que posso afirmar com segurança que ninguém compreende a mecânica quântica

Richard Feynman

Quem não estiver chocado com a teoria quântica

não a compreende.

Niels Bohr

A Estrada Improvável e Infinita é um método maravilhoso para atravessar as vastas distâncias interestelares num nada

de segundo, sem toda essa aborrecida complicação do hiperesp

Douglas Adams

NO BESTSELLER UMA BOLEIA PARA A GALÁXIA, romance de ficção científica inconvencional e irreverente, de Douglas Adams, o herói descobre acidentalmente um método muito engenhoso de viajar até às estrelas. Em vez de usar buracos de verme, estradas no hiper-espaço ou portais dimensionais para viajar entre galáxias, decide aproveitar o princípio da incerteza para se lançar na vastidão do espaço intergaláctico. Se, de algum modo, pudermos controlar a probabilidade de certos eventos improváveis, então, tudo é possível, incluindo viajar mais depressa do que a luz e, até mesmo, viajar no tempo.

É altamente improvável que possamos chegar às estrelas distantes em segundos, mas quando pudermos controlar arbitrariamente as probabilidades quânticas, então o impossível poderá transformar-se num lugar comum.

A teoria quântica baseia-se na ideia de que há uma probabilidade de que todos os eventos possíveis, por mais fantásticos ou insensatos que pareçam, ocorram. Esta ideia, por sua vez, constitui o ponto fulcral da teoria do Universo inflacionário -quando ocorreu o big bang original, houve uma transição quântica para um novo estado em que o Universo subitamente sofreu uma inflação enorme. Todo o nosso Universo, ao que parece, pode ter brotado de um salto quântico altamente improvável. Embora Adams seja irónico, os físicos compreendem que, se houver alguma hipótese de controlar estas probabilidades, poderão fazer coisas que mais parecem magia. Mas, por enquanto, alterar a probabilidade dos eventos está fora do alcance da nossa tecnologia.

Às vezes peço aos meus alunos de doutoramento que resolvam problemas muito simples, tais como calcular a probabilidade de desaparecerem subitamente e de se materializarem do outro lado de uma parede de tijolos. De acordo com a teoria quântica, há uma probabilidade pequena, mas calculável de que isso possa ocorrer. Ou seja, desaparecermos no quarto e aparecermos em Marte. De acordo com a teoria quântica, uma pessoa pode, em princípio, voltar a materializar-se subitamente no planeta vermelho. Claro que a probabilidade é tão pequena que teremos de esperar mais do que a duração até agora do Universo. Consequentemente, na nossa vida quotidiana, podemos menosprezar estes eventos improváveis. Mas, ao nível subatómico, tais probabilidades são cruciais para o funcionamento da electrónica, dos computadores e dos lasers.

Na verdade, os electrões desmaterializam-se regularmente e voltam a materializar-se do outro lado das paredes dentro dos componentes dos PC e dos CD. A civilização moderna sofreria um

colapso, se os electrões não pudessem estar em dois lugares ao mesmo tempo. (As moléculas do nosso corpo também sofreriam um colapso sem este princípio bizarro. Imagine dois sistemas solares que colidem no espaço, obedecendo à lei da gravidade de Newton. Os sistemas solares em colisão colapsariam numa mistura caótica de planetas e de asteróides. De modo semelhante, se os átomos obedecessem às leis de Newton, desintegrarse-iam sempre que colidissem com outros. O que mantém dois átomos numa molécula estável é o facto de os electrões poderem estar simultaneamente em muitos lugares ao mesmo tempo formando uma «nuvem» de electrões que liga os átomos uns aos outros. Assim, as moléculas são estáveis e o Universo não se desintegra porque os electrões podem estar em muitos lugares ao mesmo tempo.)

Mas, se os electrões podem existir em estados paralelos entre a existência e a não-existência, porque é que não acontece o mesmo com o Universo? Afinal de contas, o Universo foi mais

pequeno que um electrão. Uma vez introduzida a possibilidade de aplicar o princípio quântico ao Universo, somos obrigados a considerar os universos paralelos.

É precisamente esta possibilidade que é explorada no perturbador conto fantástico de ficção científica de Philip K. Dick O Homem do Castelo Alto. Neste livro, há um Universo alternativo separado do nosso devido a um único evento fulcral. Em 1933, nesse Universo, a história mundial é alterada quando a bala de um assassino mata o presidente Roosevelt, durante o seu primeiro ano do seu mandato. O vice-presidente assume o cargo desenvolvendo uma política isolacionista que enfraquece militarmente os Estados Unidos. Sem estarem preparados para o ataque de Pearl Harbor e incapazes de se refazerem da destruição de toda a sua frota, os Estados Unidos são forçados, em 1947, a render-se aos alemães e aos japoneses. Os Estados Unidos acabaram por ser divididos em três partes: o Reich alemão controla a costa oriental, os Japoneses a costa ocidental,

existindo entre ambos, o estado tampão de Rocky Mountain. Neste Universo paralelo, um indivíduo misterioso escreve um livro chamado The Grasshopper Lies Heavy, baseado num versículo da Bíblia eliminado pelos nazis. Fala de um Universo alternativo em que Roosevelt não foi assassinado e os Estados Unidos e a Inglaterra derrotaram os nazis. A missão da heroína na história é ver se há alguma verdade no Universo alternativo, onde prevalecem a democracia e a liberdade em vez da tirania e do racismo.

ZONA CREPUSCULAR

O mundo de O Homem do Castelo Alto e o nosso mundo estão separados apenas por um acidente insignificante, a simples bala do assassino. Contudo, também é possível que um mundo paralelo possa estar separado do nosso pelo evento mais pequeno possível: um único evento quântico, o impacto de um raio cósmico.

Num episódio da série televisiva Twilight Zone, um homem acorda e descobre que a mulher não o reconhece. Ela ameaça que, se ele não

sair, chamará a polícia. Quando vagueia pela cidade, verifica que os seus amigos de longa data também não o reconhecem, como se nunca tivesse existido. Finalmente, vai a casa dos pais e fica estupefacto. Os seus pais dizem que nunca o viram e que nunca tiveram nenhum filho. Sem amigos, sem família e sem casa, anda à deriva pela cidade e acaba por adormecer no banco de um parque, como um sem-abrigo. Quando acorda, no dia seguinte, encontra-se confortavelmente deitado na sua cama ao lado da sua mulher. Contudo, quando a mulher se volta, fica estupefacto ao ver que aquela não é a sua mulher, mas uma estranha que ele nunca tinha visto.

Estas histórias absurdas são possíveis? Talvez. Se o protagonista de Twilight Zone tivesse feito algumas perguntas esclarecedoras à sua mãe, poderia ter ficado a saber que ela tinha sofrido um aborto e nunca tinha tido um filho. Por vezes, um único raio cósmico, uma única partícula proveniente do espaço exterior, pode penetrar no ADN do embrião e causar uma

mutação que acabará por provocar um aborto. Nesse caso, um único evento quântico pode separar dois mundos: um em que vivemos como cidadãos normais e outro exactamente idêntico, em que não chegamos a nascer.

Embora as leis da física admitam que nos movemos entre estes mundos, isso é extremamente improvável; a probabilidade de acontecer é astronomicamente pequena. Mas como podemos ver, a teoria quântica dá-nos uma representação do Universo muito mais estranha do que a que nos é dada por Einstein. Na relatividade, o palco da vida em que actuamos pode ser feito de borracha, e os actores movem-se em trajectórias curvas, quando percorrem o cenário. Tal como no mundo de Newton, os actores do mundo de Einstein papagueiam os seus diálogos, de acordo com um guião previamente escrito. Mas, numa peça quântica, os actores subitamente deitam fora o guião e actuam por conta própria. As marionetas cortam as suas cordas. Reina o livre-arbítrio. Os actores podem aparecer e desaparecer do

palco. E, o que é ainda mais estranho, podem aparecer em dois lugares ao mesmo tempo. Os actores, quando representam os seus papéis, nunca sabem ao certo se estão ou não a falar com alguém que pode desaparecer subitamente e reaparecer noutro lugar.

UMA ENORME MENTE: JOHN WHEELER

Exceptuando Einstein e Bohr, talvez ninguém tenha lutado mais contra o absurdo e o êxito da teoria quântica do que John Wheeler. É toda a realidade física apenas uma ilusão? Existem universos paralelos quânticos? No passado, quando não meditava nestes enigmáticos paradoxos quânticos, Wheeler aplicava-se na construção de bombas atómicas e de hidrogénio e foi pioneiro no estudo de buracos negros. John Wheeler é o último dos gigantes, ou «mentes monstruosas», como o seu aluno Richard Feynman lhes chamava, que analisaram as conclusões arrojadas da teoria quântica.

Foi Wheeler que inventou a expressão «buraco negro» em 1967,[1] numa conferência da NASA, no Goddard Institute for Space Studies, em Nova Iorque, depois da descoberta dos primeiros pulsares.

Wheeler nasceu em 1911 em Jacksonville, na Florida. O seu pai era bibliotecário, mas a engenharia estava no sangue da família. Três dos seus tios foram engenheiros de minas e, por vezes, trabalhavam com explosivos. A ideia de usar dinamite fascinava-o e gostava de observar as explosões. (Um dia, estava despreocupadamente a fazer experiências com dinamite que, acidentalmente, lhe explodiu na mão, levando-lhe parte do polegar e a extremidade de um dedo. Por coincidência, quando Einstein era estudante universitário, foi, por imprudência, vítima de uma explosão semelhante ferindo a sua mão, que teve de ser suturada.)

Wheeler era uma criança precoce, que dominava o cálculo e devorava todos os livros que encontrava sobre a nova teoria de que os seus

amigos tanto falavam: a mecânica quântica. Mesmo diante dos seus olhos, uma nova teoria estava a ser desenvolvida na Europa por Niels Bohr, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger que, subitamente, desvendava os segredos do átomo. Apenas alguns anos antes, os seguidores do filósofo Ernst Mach tinham ridicularizado a existência de átomos, alegando que nunca tinham sido observados no laboratório e, provavelmente, não passavam de ficção. O que não pode ser visto, provavelmente não existe, alegavam. O grande físico austríaco Ludwig Boltzmann, que formulou leis da termodinâmica, suicidou-se em 1906, em parte devido à ridicularização de que foi vítima por defender o conceito de átomo.

Seguidamente, em poucos anos, de 1925 a 1927, os segredos do átomo foram desvendados. Nunca na história moderna (excepto em 1905, com o trabalho de Einstein) houve descobertas desta magnitude em tão pouco tempo. Wheeler queria participar nesta revolução. Mas compreendeu que os Estados Unidos estavam na

retaguarda da Física; não havia um único físico com renome mundial. Como J. Robert Oppenheimer antes dele, Wheeler deixou os Estados Unidos e viajou para Copenhaga, para estudar com Niels Bohr.

Experiências anteriores com electrões demonstraram que eles se comportavam como ondas e como partículas. Esta estranha dualidade entre ondas e partículas foi finalmente revelada pelos físicos quânticos: o electrão, na sua dança em tomo do átomo, comportava-se como uma partícula, mas era acompanhado por uma onda misteriosa. Em 1925, o físico austríaco Erwin Schrödinger propôs uma equação (a célebre equação de onda de Schrödinger) que descrevia com precisão o movimento da onda associado ao electrão. Esta onda, representada pela letra grega ?, oferece previsões surpreendentemente precisas sobre o comportamento dos átomos, que revolucionaram a Física. Subitamente, desde primeiros princípios, era possível sondar o interior do próprio átomo para calcular como os electrões

andavam nas suas órbitas, faziam transições e mantinham os átomos coesos em moléculas.

Como o físico quântico Paul Dirac se gabava, a física em breve haveria de reduzir toda a química a mera engenharia. Proclamava ele: «As leis físicas subjacentes à teoria matemática de uma larga parte da física e de toda a química são, assim, completamente conhecidas, sendo a única dificuldade o facto de a aplicação destas leis conduzir a equações cuja resolução é muito complicada.»[2] Esta função ? era tão espectacular que o seu verdadeiro significado permanecia misterioso.

Finalmente, em 1928, o físico Max Bom propôs a ideia de que esta função de onda representava a probabilidade de descobrir o electrão em qualquer ponto. Por outras palavras, nunca poderemos saber ao certo a posição exacta de um electrão; tudo o que podemos fazer é calcular a sua função de onda, que nos dá a probabilidade de o electrão estar nesse lugar. Assim, se a física atómica podia ser reduzida a ondas de

probabilidade de um electrão estar aqui ou ali; e se um electrão podia, aparentemente, estar em dois lugares ao mesmo tempo, como é que podemos determinar onde está realmente o electrão?

Bohr e Heisenberg acabaram por formular o conjunto completo de receitas num livro de culinária quântica que funcionou muito bem em experiências atómicas de grande precisão. A função de onda apenas nos informa sobre a probabilidade de o electrão estar aqui ou ali. Se o valor da função de onda é elevado num determinado ponto, isso significa que há uma grande probabilidade de o electrão estar localizado num determinado lugar. (Se é pequeno, então é improvável que o electrão se encontre nesse lugar.) Por exemplo, se pudéssemos «vem a função de onda de uma pessoa, seria notavelmente parecida com a própria pessoa. Contudo, a função de onda também se espalha no espaço, o que significa que há uma pequena probabilidade de a pessoa ser

encontrada na Lua. (De facto, a função de onda da pessoa espalha-se por todo o Universo.)

Isto também significa que a função de onda de uma árvore pode informar-nos sobre a probabilidade de esta se encontrar de pé ou a cair, mas não nos pode dizer definitivamente em que estado se encontra a árvore, na realidade. No entanto, o senso comum diz-nos que os objectos se encontram em estados definidos. Quando olhamos para uma árvore, a árvore está definitivamente na nossa frente - ou de pé ou a cair - mas não em ambos os estados.

Para resolver a discrepância entre ondas de probabilidade e a nossa noção do senso comum de existência, Bohr e Heisenberg admitiram que, depois de ser feita uma medição por um observador exterior, a função de onda «colapsa» magicamente, caindo o electrão num estado definido - isto é, depois de olharmos para a árvore, vemos que, na verdade, ela está de pé. Por outras palavras, o processo de observação determina o estadofinal do electrão. A observação é vital para a

existência. Depois de olharmos para o electrão, a sua função de onda colapsa, pelo que o electrão está agora num estado definido e as funções de onda deixam de ser necessárias.

Assim, os postulados da escola de Copenhaga de Bohr, falando de uma forma simples, podem ser sumariados como se segue:

a. Toda a energia ocorre em pacotes discretos, chamados quanta. (O quantum de luz, por exemplo, é o fotão. Os quanta da força fraca são os bosões W e Z. O quantum da força forte é o glião e o quantum da gravidade é o gravitão, que ainda não foi observado em laboratório.)

b. A matéria é representada por partículas pontuais, mas a probabilidade de encontrar a partícula é dada por uma onda. A onda, por sua vez, obedece a uma equação de onda específica (a equação de onda de Schrödinger).

c. Antes de se fazer uma observação, um objecto existe simultaneamente em

todos os estados possíveis. Para determinar em que estado está o objecto, temos de efectuar uma observação, o que faz «colapsam a função de onda e o objecto transita para um estado definido. O acto da observação destrói a função de onda e o objecto assume agora uma realidade definida. A função de onda serviu o seu propósito: deu-nos a probabilidade precisa de encontrar o objecto nesse estado particular.

DETERMINISMO OU INCERTEZA?

A teoria quântica é a teoria física mais bem sucedida de todos os tempos. A formulação mais perfeita da teoria quântica é o modelo padrão que resultou de décadas de experiências com aceleradores de partículas. Partes desta teoria têm sido testadas numa parte em 1O mil milhões. Se incluirmos a massa do neutrino, o modelo padrão é consistente com todas as experiências realizadas com partículas subatómicas, sem excepção.

Mas, independentemente do sucesso da teoria quântica, experimentalmente ela baseia-se em postulados que deram origem a enormes controvérsias filosóficas e teológicas durante os últimos oitenta anos. O segundo postulado, em particular, suscitou a ira de religiões, porque questiona quem decide o nosso futuro. Através dos tempos, os filósofos, os teólogos e os cientistas têm estado fascinados pelo futuro e querem saber se, de algum modo, o nosso destino é passível de ser conhecido. No Macbeth de Shakespeare, Banquo desesperado para levantar o véu que encobre o nosso destino, profere as seguintes palavras:

Ifyou can look into the seeds of time
And say which grain will grow and which will not,
Speak then to me ...
(Acto 1, cena 3)

Shakespeare escreveu estas palavras em 1606. Oitenta anos depois, outro inglês, Isaac Newton, teve a audácia de proclamar que sabia responder a esta velha questão. Tanto Newton

como Einstein acreditavam no chamado determinismo, segundo o qual todos os eventos futuros podem, em princípio, ser determinados. Para Newton, o Universo era um relógio gigantesco posto a funcionar por Deus no princípio do tempo. Desde então, esse relógio tem estado sempre a trabalhar, obedecendo às suas três leis do movimento, de uma maneira exactamente previsível. O matemático francês Pierre Simon de Laplace, conselheiro científico de Napoleão, admitiu que, através das leis de Newton, era possível prever o futuro com a mesma precisão com que se conhece o passado. Escreveu que, se um ser pudesse conhecer a posição e a velocidade de todas as partículas do Universo, «para esse intelecto, nada podia ser incerto; e o futuro estaria perante os seus olhos tal como o passado.»[3] Quando Laplace ofereceu a Napoleão uma cópia da sua obra principal, Mecânica Celeste, o imperador disse: «Escreveste esta enorme obra sobre os céus sem mencionar Deus uma única

vez.» Laplace replicou: «Senhor, não precisei dessa hipótese.»

Para Newton e para Einstein, o conceito de livre-arbítrio, segundo o qual nós somos senhores do nosso destino, era uma ilusão. A esta noção do senso comum, de que os objectos concretos em que tocamos são reais e existem em estados definidos, Einstein chamava «realidade objectiva». Apresentou a sua posição muito claramente, como se segue:

> *Sou um determinista, compelido a agir como se o livre-arbítrio existisse, porque, se eu quero viver numa sociedade civilizada, devo agir com responsabilidade. Sei que, filosoficamente, um assassino não é responsável pelos seus crimes, mas prefiro não tomar chá com ele... A minha carreira tem sido determinada por várias forças sobre as quais eu não tenho controlo, sobretudo por essas misteriosas glândulas com que a natureza prepara a verdadeira essência da vida. Henry Ford*

pode dizer que é a sua Voz Interior, Sócrates referia-se-lhe como o seu demónio: cada homem explica à sua maneira o facto de o arbítrio humano não ser livre.... Tudo está determinado ... por forças que não podemos controlar... tanto para o insecto como para uma estrela. Os seres humanos, os vegetais, ou a poeira cósmica, todos nós dançamos para um tempo misterioso regido à distância por um jogador invisível.[4]

Os teólogos também se debateram com esta questão. A maior parte das religiões do mundo acreditam nalguma forma de predestinação, a ideia de que Deus não só é omnipotente (todo-poderoso) e omnipresente (está em toda a parte), mas também é omnisciente (sabe tudo, mesmo o futuro). Nalgumas religiões, isto significa que Deus sabe se vamos para o céu ou para o inferno, mesmo antes de termos nascido. Na essência, há um «livro do destino» algures no céu, com a lista

de todos os nossos nomes, incluindo a data do nosso nascimento, os nossos fracassos e os nossos triunfos, as nossas alegrias e as nossas derrotas, a data da nossa morte e se viveremos no paraíso ou na condenação eterna.

(Esta delicada questão teológica da predestinação, em parte, ajudou a dividir a Igreja Católica em 1517, quando Martinho Lutero acrescentou as suas noventa e cinco teses em Wittenberg. Aí atacava a prática da Igreja da venda de indulgências - na essência, subornos que abriam aos ricos o caminho para o céu. Talvez, parecia Lutero dizer, Deus conheça com antecedência o nosso futuro e o nosso destino esteja predestinado, mas Deus não pode ser persuadido a alterar a sua mente em troca de um donativo considerável à Igreja.)

Mas, para os físicos que aceitam o conceito de probabilidade, o postulado mais controverso é, sem dúvida, o terceiro, que tantas dores de cabeça deu às gerações de físicos e de filósofos: A «observação» é um conceito vago e mal

definido. Além disso, assenta no facto de haver realmente dois tipos de Física: uma para o bizarro mundo subatómico, onde os electrões podem aparentemente estar em dois lugares ao mesmo tempo, e outra para o mundo macroscópico onde vivemos, que parece obedecer às leis do senso comum de Newton.

De acordo com Bohr, há uma «parede» invisível que separa o mundo atómico do mundo macroscópico quotidiano e familiar. Embora o mundo atómico obedeça a regras bizarras da teoria quântica, deixamos as nossas vidas fora dessa parede, no mundo de planetas e estrelas bem definidos, onde as ondas já colapsaram.

Wheeler, que aprendeu mecânica quântica com os seus criadores, gostava de resumir as duas escolas de pensamento sobre esta questão. Dá o exemplo de três árbitros de um jogo de basebol que discutem os lances mais importantes de jogo. Ao tomar uma decisão, os três árbitros dizem:

Número 1: Chamo-os como os vejo.

Número 2: Chamo-os como eles são.

Número 3: Eles não são nada até eu os chamar.[5]

Para Wheeler o segundo árbitro é Einstein, que acreditava que havia uma realidade absoluta exterior à experiência humana. Einstein chamava-lhe «realidade objectiva», a ideia de que os objectos podem existir em estados definidos sem a intervenção humana. O terceiro árbitro é Bohr, que argumentava que a realidade apenas existia depois de ser feita uma observação.

ÁRVORES NA FLORESTA

Os físicos, por vezes, olham para os filósofos com um certo desdém, citando Cícero que outrora disse: «Não há nada tão absurdo que não tenha já sido dito pelos filósofos.» O matemático Stanislaw Ulam, que não gostava nada de dar nomes pomposos a conceitos simples, disse uma vez: «A loucura é a capacidade de efectuar distinções subtis de diferentes espécies de

absurdo.»[6] O próprio Einstein disse uma vez da Filosofia: «Não parece que toda a filosofia é escrita com mel? Parece maravilhosa quando a contemplamos, mas, quando voltamos a olhá-la, já desapareceu tudo. Só há uma papa.»[7]

Os físicos também gostam de contar a história apócrifa supostamente narrada pelo presidente de uma universidade que ficou exasperado ao olhar para o orçamento dos departamentos de Física, de Matemática e de Filosofia. Teria dito: «Porque é que os físicos exigem sempre um equipamento tão dispendioso? O departamento de Matemática só quer dinheiro para papel, lápis e cestos de papel e o departamento de Filosofia ainda é melhor. Nem sequer pede cestos de papel.»[8]

No entanto, os últimos a rir podem ser os filósofos. A teoria quântica está incompleta e assenta em bases filosóficas pouco sólidas. Esta controvérsia quântica obriga-nos a reexaminar o trabalho de filósofos como o bispo Berkeley que, no século XVIII, afirmava que os objectos só

existem porque os seres humanos os observam, uma filosofia chamada solipsismo ou idealismo. Se uma árvore cair numa floresta, mas não estiver lá ninguém para a ver cair, então, na realidade, ela não caiu, dizem eles.

Agora temos uma reinterpretação quântica de árvores que caem na floresta. Antes de ser feita uma observação, não se sabe se ela caiu ou não. De facto, a árvore existe simultaneamente em todos os estados possíveis: pode arder, cair, ser cortada para lenha, ser serrada, etc. Logo que é feita uma observação, a árvore adquire subitamente um estado definido e vemos, por exemplo, que ela caiu.

Comparando a dificuldade filosófica da relatividade e da teoria quântica, Feynman observou: «Houve tempo em que os jornais diziam que apenas doze homens compreendiam a teoria da relatividade. Não acredito que esse tempo tenha existido ... por outro lado, penso que posso dizer com segurança que ninguém compreende a mecânica quântica.»[9] Escreve ele que a mecânica

quântica «descreve a natureza como absurda do ponto de vista do senso comum. E concorda plenamente com a experiência. Assim espero que se aceite a natureza tal como ela é - absurda».[10] Estas palavras criaram um sentimento desconfortável entre muitos físicos, que se sentiram acusados de estarem a criar mundos inteiros assentes em areias movediças. Steven Weinberg escreve: «Admito sentir algum desconforto por ter trabalhado durante toda a minha vida num quadro teórico que ninguém compreende completamente.»[11]

Na ciência tradicional, o observador tenta manter-se o mais imparcial possível, fora do mundo. (A brincar disse: «Pode sempre identificar um cientista num clube de strip, porque ele já é o único que observa a audiência.») Mas agora, pela primeira vez, vemos que é impossível separar o observador do observado. Como Max Planck observou: «A ciência não pode resolver o último mistério da Natureza. E isto porque, em

última análise, nós próprios somos parte do mistério que tentamos resolver.»[12]

O PROBLEMA DO GATO

Erwin Schrödinger, que foi o primeiro a introduzir a equação de onda, pensou que estava a ir muito longe. Confessou a Bohr que lamentava ter proposto o conceito de onda se desse modo estava a introduzir o conceito de probabilidade em Física.

Para destruir a ideia de probabilidade, propôs uma experiência. Imagine um gato fechado numa caixa. Dentro da caixa há uma garrafa de gás venenoso, ligada a um martelo, que, por sua vez, está ligado a um contador Geiger colocado junto de uma amostra de urânio. Ninguém contesta que o declínio radioactivo do átomo de urânio é puramente um evento quântico que não pode ser previsto. Digamos que há 50% de hipóteses de o átomo de urânio decair no segundo que se segue. Mas se o átomo de urânio decair, desliga o contador Geiger que, por sua vez, desliga o martelo,

que parte o vidro, matando o gato. Antes de abrir a caixa, é impossível dizer se o gato está morto ou vivo. De facto, para descrever o gato, os físicos acrescentam a função de onda do gato vivo e do gato morto - isto é, o gato pode estar 50% vivo e 50% morto, ao mesmo tempo.

Agora abrimos a caixa. Ao examinarmos a caixa, é feita uma observação, a função de onda colapsa e verificamos que o gato está, por exemplo, vivo. Para Schrödinger isto não faz sentido. Como é possível que o gato esteja vivo e morto ao mesmo tempo, só porque não tínhamos olhado para ele? Será que ele subitamente ganha existência quando olhamos para ele? Einstein também não estava satisfeito com esta interpretação. Quando recebia visitas em sua casa, dizia: olhem a Lua. Será que ela ganha existência quando um rato olha para ela? Einstein acreditava que a resposta era negativa. Mas, em certo sentido, a resposta podia ser afirmativa.

A situação finalmente atingiu um ponto culminante em 1930, na Solvay Conference, numa

discussão histórica entre Einstein e Bohr. Wheeler diria mais tarde que tinha sido o maior debate da história intelectual a que tinha assistido. Em trinta anos, nunca presenciara um debate entre dois homens tão importantes sobre uma questão tão profunda, com consequências tão decisivas para a compreensão do Universo.

Einstein, sempre atrevido, ousado e surpreendentemente falador, apresentou uma série de «experiências mentais» para demolir a teoria quântica. Bohr, que resmungava sem parar, hesitava depois de cada ataque. O físico Paul Ehrenfest observou: «Foi maravilhoso para mim ter assistido aos diálogos entre Bohr e Einstein. Este, como um jogador de xadrez, sempre com argumentos novos. Uma espécie de máquina do movimento perpétuo de segunda espécie, empenhado em demolir a incerteza. Bohr, sempre envolto numa nuvem de fumo filosófico, procurando os instrumentos para destruir um exemplo após outro. Einstein, como uma caixa de surpresas, aparecia sempre com argumentos novos. Oh, foi

delicioso. Mas eu sou quase incondicionalmente a favor de Bohr e contra Einstein. Ele agora comporta-se perante Bohr exactamente como os campeões do conceito de simultaneidade absoluta se tinham comportado para com ele.»[13]

Finalmente, Einstein propôs uma experiência que ele pensou que daria o golpe de misericórdia na teoria quântica. Imagine uma caixa que contém um gás de fotões. Se a caixa tiver um postigo, pode libertar num instante um único fotão. Uma vez que conseguimos medir com precisão a velocidade do postigo e a energia do fotão, podemos determinar, com precisão infinita, o estado do fotão, violando, assim, o princípio da incerteza.

Ehrenfest escreveu: «Para Bohr isto foi um rude golpe. No momento, não encontrou solução. Ficou extremamente triste durante a noite, conversou com várias pessoas, tentando persuadi-las de que tudo aquilo não podia ser verdade porque, se Einstein tivesse razão, isto significaria o fim da Física. Mas não podia pensar em desistir da

refutação. Nunca esquecerei a imagem dos dois opositores a saírem da universidade. Einstein, uma figura majestosa, caminhava calmamente com um sorriso vagamente irónico e Bohr caminhava a seu lado, extremamente perturbado.»[14]

Quando mais tarde, Ehrenfest encontrou Bohr, ficou sem palavras; tudo o que era capaz de fazer era resmungar a mesma palavra vezes sem conta: «Einstein ... Einstein ... Einstein ...»

No dia seguinte, depois de uma longa noite sem sono, Bohr acabou por encontrar uma pequena imperfeição no argumento de Einstein. Depois de emitir o fotão, a caixa ficava um pouco mais leve, uma vez que a matéria e a energia eram equivalentes. Isto significava que a caixa ficava ligeiramente mais leve sob o efeito da gravidade, uma vez que a energia tem peso, de acordo com a própria teoria da gravidade de Einstein. Mas isto introduzia incerteza na energia do fotão. Se fosse possível calcular a incerteza do peso e a incerteza da velocidade do postigo, verificar-se-ia que a caixa obedecia com

exactidão ao princípio da incerteza. De facto, Bohr tinha usado a própria teoria da gravidade de Einstein para refutar Einstein! Bohr saiu vitorioso e Einstein foi derrotado.

Quando Einstein, mais tarde, se lamentou dizendo: «Deus não joga aos dados com o Universo», Bohr, segundo se diz, replicou: «Não digas a Deus o que ele tem de fazer.» Einstein acabou por reconhecer que Bohr tinha refutado com sucesso os seus argumentos e escreveria: «Estou convencido de que esta teoria contém inevitavelmente um pouco de verdade.»[15] (No entanto, Einstein desdenhou dos físicos que não foram capazes de perceber os subtis paradoxos inerentes à teoria quântica. Uma vez escreveu: «Evidentemente, hoje qualquer palerma pensa que sabe a resposta, mas está a iludir-se.»[16])

Depois deste e de outros debates acalorados com físicos quânticos, Einstein acabou por desistir, e enveredou por um caminho diferente. Admitiu que a teoria quântica estava correcta, mas apenas dentro de um certo domínio, apenas como

uma aproximação à realidade. Da mesma maneira que a relatividade generalizou (mas não destruiu) a teoria de Newton, ele quis absorver a teoria quântica numa teoria mais geral e mais poderosa, a teoria do campo unificado.

(Este debate entre Einstein e Schrödinger, por um lado, e Bohr e Heisenberg, por outro, não pode ser facilmente esquecido, uma vez que estas «experiências mentais» não podem ser levadas a cabo no laboratório. Embora os cientistas não possam fazer um gato aparecer morto ou vivo ao mesmo tempo, podem já manipular átomos individuais com a nanotecnologia. Recentemente, estas experiências intrigantes foram feitas com uma buckybola formada por 60 átomos de carbono, pelo que a «parede» imaginada por Bohr, para separar objectos grandes de objectos quânticos, desapareceu com facilidade. Os físicos experimentais estudam agora o que seria necessário para mostrar que um vírus, que consiste em milhares de átomos, pode estar em dois lugares ao mesmo tempo.)

A BOMBA

Infelizmente, as discussões sobre estes deliciosos paradoxos foram interrompidas com a ascensão de Hitler ao poder em 1933 e o desejo de construir uma bomba atómica. Durante anos soube-se, através da famosa equação de Einstein, E = mc2, que havia um vasto depósito de energia encerrado no átomo. Mas a maior parte dos físicos achava ridícula a ideia de ser possível utilizar esta energia. Ernest Rutherford, o homem que descobriu o núcleo do átomo, afirmou: «A energia produzida pela cisão do átomo é algo muito pobre. Quem esperar que a transformação destes átomos seja uma fonte de energia anda no mundo da Lua.»[17]

Em 1939, Bohr fez uma viagem decisiva aos Estados Unidos, e chegou a Nova Iorque, para se encontrar com o seu aluno John Wheeler. Trazia notícias ominosas: Otto Hahn e Lise Meitner tinham mostrado que o núcleo de urânio podia dividir-se ao meio, libertando energia, num processo chamado cisão. Bohr e Wheeler

começaram a desenvolver a dinâmica quântica da cisão nuclear. Como na teoria quântica tudo é questão de probabilidade e oportunidade, estudaram a probabilidade de um neutrão dividir o núcleo do urânio, libertando dois ou mais neutrões, o que provocaria cisão adicional dos núcleos de urânio, que então libertariam ainda mais neutrões e assim sucessivamente, desencadeando uma reacção em cadeia capaz de devastar uma cidade moderna. (Em mecânica quântica, nunca é possível saber se um determinado neutrão provoca a cisão de um átomo de urânio, mas é possível calcular com precisão incrível a probabilidade de milhares de milhões de átomos de urânio sofrerem cisão originando uma bomba. Este é o poder da mecânica quântica.)

Os seus cálculos quânticos indicavam que a bomba atómica era possível. Dois meses depois, Bohr, Eugene Wigner, Leo Szilard e Wheeler encontraram-se no antigo gabinete de Einstein em Princeton, para discutir o projecto de uma bomba atómica. Bohr acreditava que seriam

necessários os recursos de toda uma nação para construir a bomba. (Poucos anos depois, Szilard persuadiria Einstein a escrever a carta fatídica ao presidente Franklin Roosevelt, pressionando-o a construir essa bomba).

No mesmo ano, os nazis, sabendo que a libertação catastrófica de energia do átomo de urânio lhes podia dar uma arma imbatível, ordenaram a um discípulo de Bohr, Heisenberg, que criasse a bomba atómica para Hitler. De um dia para o outro, as discussões sobre a probabilidade quântica da cisão tomaram-se letalmente sérias, pondo em risco o destino da humanidade. As discussões da probabilidade de encontrar gatos vivos depressa seriam substituídas pelas discussões sobre a probabilidade da cisão do urânio.

Em 1941, quando os nazis devastavam quase toda a Europa, Heisenberg fez uma viagem secreta, para se encontrar com o seu velho mentor, Bohr, em Copenhaga. A natureza precisa deste encontro ainda está envolta em mistério e sobre ele se escreveu uma peça de teatro que foi

premiada, enquanto os historiadores debatiam o seu conteúdo. Estaria Heisenberg a oferecer-se para sabotar a bomba atómica nazi? Ou, pelo contrário, quereria Heisenberg aliciar Bohr a colaborar no projecto da bomba nazi? Seis décadas depois, em 2002, grande parte do mistério sobre as intenções de Heisenberg foi finalmente revelada, quando a família de Bohr tomou pública uma carta de Bohr para Heisenberg, escrita na década de 1950, mas que nunca terá sido enviada. Nessa carta, Bohr recordava que Heisenberg tinha dito nesse encontro que a vitória dos nazis era inevitável. Como não era possível parar a tremenda força nazi, era lógico que Bohr aceitasse trabalhar para os nazis.)[18]

Bohr ficou horrorizado; a tremer, recusou-se a permitir que o seu trabalho sobre a teoria quântica caísse nas mãos dos nazis. Como a Dinamarca estava ocupada pelos nazis, Bohr planeou uma fuga secreta de avião e ia morrendo sufocado, devido à falta de oxigénio, na viagem de avião a caminho da liberdade.

Entretanto, na Universidade de Columbia, Enrico Fermi mostrou que era possível uma reacção nuclear em cadeia. Depois de chegar a esta conclusão, olhou para Nova Iorque e compreendeu que uma única bomba podia destruir tudo o que via na bem conhecida linha do horizonte. Wheeler, compreendendo a envergadura da empresa, deixou voluntariamente Princeton e juntou-se a Fermi na base de Stagg Field, na Universidade de Chicago, onde, em conjunto, construíram o primeiro reactor nuclear, que inaugurou oficialmente a era nuclear.

Ao longo da década seguinte, Wheeler assistiu a alguns dos desenvolvimentos mais significativos da guerra atómica. Durante a guerra, ajudou a supervisionar a construção da monumental Hanford Reservation em Washington, que criou o plutónio bruto necessário para construir a bomba que devastaria Nagasaki. Alguns anos depois, trabalhou na bomba de hidrogénio, tendo assistido à explosão da primeira bomba desse tipo em 1952 e à devastação que um «fragmento»

de Sol causaria, se fosse libertado numa pequena ilha do Pacífico. Mas, depois de ocupar o primeiro plano da história mundial durante cerca de uma década, acabou por voltar ao seu primeiro amor, os mistérios da teoria quântica.

SOMA DAS TRAJECTÓRIAS

Um dos muitos alunos de Wheeler depois da guerra foi Richard Feynman, que, por acaso, encontrou talvez a maneira mais simples e mais profunda de sumariar as complexidades da teoria quântica. (Uma consequência desta ideia seria o facto de ganhar o Prémio Nobel em 1965.) Suponhamos que queremos atravessar uma sala. De acordo com Newton, devemos simplesmente seguir o caminho mais curto, do ponto A para o ponto B, a chamada trajectória clássica. Mas, de acordo com Feynman, primeiro temos de considerar todas as trajectórias possíveis que ligam os pontos A e B. Isto significa considerar as trajectórias que nos levam a Marte, a Júpiter, à estrela mais próxima, e até mesmo as trajectórias que retrocedem no tempo, até ao big bang. Por

mais loucas e bizarras que essas trajectórias sejam, temos de as considerar. Então, Feynman atribuiu um valor numérico a cada trajectória, e apresentou um conjunto preciso de regras que permitem calcular esse valor. Miraculosamente, somando os valores de todas as trajectórias possíveis, encontramos a probabilidade de caminhar do ponto A para o ponto B dada pela mecânica quântica tradicional. Isto foi verdadeiramente notável.

Feynman descobriu que a soma destes valores das trajectórias, que eram bizarras e que violavam as leis de Newton do movimento, geralmente anulavam-se para perfazer um total bastante pequeno. Esta foi a origem das flutuações quânticas, isto é, trajectórias cuja soma era muito pequena. Mas também descobriu que a trajectória do senso comum de Newton não se anulava e, portanto, tinha um total muito grande; era a trajectória com a maior probabilidade. Assim, a nossa noção de senso comum do Universo é simplesmente o estado mais provável entre um

número infinito de estados. Mas nós coexistimos com todos os estados possíveis, alguns dos quais nos levam à era dos dinossáurios, à supernova mais próxima e às fronteiras do Universo. (Estas trajectórias bizarras criam pequenos desvios da trajectória do senso comum newtoniano, mas felizmente a sua probabilidade é muito baixa.)

Por outras palavras, por mais estranho que possa parecer, cada vez que atravessamos a sala, de algum modo o nosso corpo «fareja» previamente todas as trajectórias possíveis, mesmo as que se estendem aos quasares distantes e ao big bang, e depois soma-as. Com uma matemática poderosa (os chamados integrais de caminho), Feynman mostrou que a trajectória newtoniana é simplesmente a trajectória mais provável e não a única trajectória. Com um artificio matemático, Feynman conseguiu provar que esta representação, por mais espantosa que pareça, equivale exactamente à mecânica quântica comum. (De facto, Feynman conseguiu chegar a uma dedução

da equação de onda de Schrödinger usando esta abordagem.)

O poder da «soma das trajectórias» de Feynman é que hoje, quando formulamos as GUT, a inflação e até mesmo a teoria de cordas, usamos o método do «integral de caminho» de Feynman. Este método é hoje ensinado em todas as universidades do mundo sendo, de longe, a maneira mais poderosa e conveniente de formular a teoria quântica.

(Na minha investigação recorro todos os dias à abordagem da trajectória integral de Feynman. Cada equação que escrevo é feita usando a soma das trajectórias. Quando aprendi o ponto de vista de Feynman, era eu aluno de licenciatura, toda a minha representação mental do Universo mudou. Apesar de ter compreendido a matemática abstracta da teoria quântica e da relatividade geral, foi a ideia de que eu, em certo sentido, «farejo» as trajectórias que me levam a Marte ou às estrelas distantes quando caminho ao longo da sala, que alterou a minha visão do mundo.

Subitamente, tinha uma nova e estranha representação mental da minha existência num mundo quântico. Comecei a compreender que a teoria quântica é muito mais estranha do que a relatividade pesem embora todas as consequências surpreendentes desta última.)

Quando Feynman desenvolveu esta formulação bizarra, Wheeler, que estava então na Universidade de Princeton, correu ao Instituto de Estudos Avançados para visitar Einstein, para o convencer da elegância e do poder desta nova representação. Wheeler explicou entusiasticamente a Einstein a nova teoria de Feynman dos integrais de caminho. Wheeler não percebeu bem quão incrivelmente louca a teoria deve ter parecido a Einstein. Mais tarde, Einstein abanava a cabeça e repetia que mesmo assim não acreditava que Deus jogasse aos dados com o Universo. Einstein admitiu que podia estar enganado, mas também insistia que tinha o direito de estar enganado.

O AMIGO DE WIGNER

Os físicos, na sua maioria, encolheram os ombros e levantaram as mãos, quando se viram confrontados com os surpreendentes paradoxos da mecânica quântica. Para a maior parte dos cientistas experimentais, a mecânica quântica é um conjunto de regras culinárias que revela as probabilidades correctas com uma precisão fantástica. Como disse o físico e pastor John Polkinghome: «A mecânica quântica vulgar não é mais filosófica do que a mecânica de um motor comum.»[19]

Contudo, alguns dos maiores pensadores da Física debruçaram-se sobre estas questões. Por exemplo, há muitas maneiras de resolver o problema do gato de Schrödinger. O primeiro, apoiado por Eugene Wigner, galardoado com o prémio Nobel, e por outros, é que a consciência determina a existência. Wigner escreveu que «não era possível formular as leis da mecânica quântica de uma maneira completamente coerente, sem referência à consciência [do observador]. .. o verdadeiro estudo do mundo exterior

levou à conclusão de que o conteúdo da consciência é a realidade última.» [20] Ou, como o poeta John Keats escreveu: «Nada se toma real antes de ser experimentado.»[21]

Mas, se eu faço uma observação, em que consiste determinar em que estado estou? Isto significa que alguém tem de me observar a colapsar a minha função de onda, esse alguém, por vezes, chama-se «o amigo de Wigner. Mas também significa que alguém tem de observar o amigo de Wigner e o amigo do amigo de Wigner, e assim sucessivamente. Existe uma consciência cósmica que determina toda a sequência de amigos observando todo o Universo?

Um físico que acredita piamente no papel central da consciência é Andrei Linde, um dos fundadores da teoria do Universo inflacionário:

> *Quanto a mim, como ser humano, não faz nenhum sentido que eu possa alegar que o Universo está aqui na ausência de observadores. Estamos juntos, o Universo e nós. Dizer que o Universo existe sem*

observadores não faz qualquer sentido. Não consigo imaginar uma teoria de tudo coerente, que ignore a consciência. Um gravador não pode desempenhar o papel de observador, porque alguém teria de ler o que está registado no dispositivo de gravação. Para vermos que alguma coisa acontece e dizermos uns aos outros que alguma coisa acontece, é preciso haver um Universo, é preciso haver um dispositivo de gravação e é preciso que haja pessoas ... Na ausência de observadores, o nosso Universo está morto.[22]

De acordo com a filosofia de Linde, os fósseis dos dinossáurios não existem na realidade se não olharmos para eles. Mas, quando olhamos para eles, eles ganham existência como se tivessem existido há milhões de anos. (Os físicos que defendem este ponto de vista têm o cuidado de salientar que esta representação é experimentalmente consistente com um mundo em que os

fósseis dos dinossáurios têm, na realidade, milhões de anos de idade.)

(Algumas pessoas, que não gostam de misturar a consciência com a Física, alegam que uma câmara pode fazer a observação de um electrão; por isso, as funções de onda podem colapsar sem recorrer a seres conscientes. Mas então quem pode dizer que a câmara existe? É necessária uma outra câmara, para «observam a primeira e fazer colapsar a sua função de onda. Então é necessário que exista uma segunda câmara que observe a primeira e uma terceira câmara que observe a segunda, ad infinitum. Assim, a introdução de câmaras não explica o modo como as funções de onda colapsam.)

DECOERÊNCIA

Uma maneira de resolver parcialmente algumas destas espinhosas questões filosóficas, que ganhou popularidade entre os físicos, chamase decoerência. Foi formulada pela primeira vez pelo físico alemão Dieter Zeh, em 1970. Observou ele que, no mundo real, não podemos separar

o gato do meio ambiente. O gato está em contacto constante com as moléculas do ar, da caixa e dos raios cósmicos que passam através da caixa da experiência. Estas interacções, por mais pequenas que sejam, afectam radicalmente a função de onda: se a função de onda sofrer a mais leve perturbação, dividir-se-á imediatamente em duas funções de onda distintas, a do gato morto e a do gato vivo, que deixam de interagir. Zeh mostrou que uma colisão com uma simples molécula de ar era suficiente para a fazer colapsar, obrigando à separação permanente das funções de onda do gato morto e do gato vivo, que já não podem comunicar uma com a outra. Por outras palavras, mesmo antes de abrir a caixa, o gato esteve em contacto com as moléculas de ar e, por isso, já está morto ou vivo.

Zeh fez uma observação chave que foi menosprezada: para o gato estar simultaneamente morto e vivo, a função de onda do gato morto e a função de onda do gato vivo têm de estar em sincronização quase perfeita, uma situação

denominada coerência. Mas experimentalmente, isto é quase impossível. Criar objectos coerentes que vibram em uníssono no laboratório é extraordinariamente dificil. (Na prática, é dificil conseguir mais do que uma mão cheia de átomos que vibram coerentemente, devido à interferência do mundo exterior.) No mundo real, os objectos interagem com o meio e a mais leve interacção com o mundo exterior pode perturbar as duas funções de onda que então entram num processo de decoerência,isto é, perdem a sincronização e separamse. Uma vez que as duas funções de onda já estão em fase uma com a outra, mostrou Zeh, as duas funções de onda deixam de interagir uma com a outra.

MUITOS MUNDOS

Em primeiro lugar, a decoerência parece muito satisfatória, porque a função de onda agora colapsa não através da consciência, mas através de interacções aleatórias com o mundo exterior. Mas isto ainda não resolve a questão fundamental que preocupou Einstein: como é que a natureza

«escolhe» em que estado colapsar? Quando uma molécula de ar atinge o gato, o que determina o estado final dele? Sobre esta questão, a teoria da decoerência apenas afirma que as duas funções de onda se separam e deixam de interagir, o que não responde à questão original: o gato está morto ou vivo? Por outras palavras, a decoerência torna a consciência desnecessária em mecânica quântica, mas não resolve a questão chave que preocupou Einstein: como é que a natureza «escolhe» o estado final do gato? Sobre esta questão a teoria da decoerência nada diz.

Há, contudo, uma extensão natural da decoerência capaz de resolver esta questão, que está hoje a ganhar ampla aceitação entre os físicos. O pioneiro desta segunda abordagem foi outro dos alunos de Wheeler, Hugh Everett III, que analisou a possibilidade de que o gato talvez pudesse estar morto e vivo ao mesmo tempo, mas em dois universos diferentes. A tese de doutoramento de Everett, concluída em 1957, foi pouco divulgada. No entanto, ao longo dos anos, o interesse pela

interpretação de «muitos mundos» começou a crescer. Hoje, desencadeou uma enorme onda de interesse pelos paradoxos da teoria quântica.

Nesta interpretação radicalmente nova, o gato está simultaneamente vivo e morto, porque o Universo se dividiu em dois. Num deles, o gato está morto; no outro, o gato está vivo. De facto, em cada evento quântico, o Universo divide-se ao meio, numa sequência infindável de universos que se dividem. Neste cenário, todos os universos são possíveis, sendo cada um tão real como o outro. As pessoas que vivem em cada Universo podem defender vigorosamente que o seu Universo é o real, e que todos os outros são imaginários ou falsos. Estes universos paralelos não são mundos fantasmas com uma existência efémera; dentro de cada Universo, aparecem objectos sólidos e eventos concretos, tão reais e tão objectivos como quaisquer outros.

A vantagem desta interpretação é que podemos apresentar a condição número três, o colapso da função de onda. As funções de onda

nunca colapsam, continuam a evoluir, dividindo-se sempre noutras funções de onda, numa árvore infindável, em que cada ramo representa um Universo inteiro. A grande vantagem da teoria de muitos mundos é que ela é mais simples do que a interpretação de Copenhaga: não exige o colapso da função de onda. O preço a pagar é que agora temos universos que se dividem continuamente em milhões de ramos. (Alguns acham difícil compreender a existência de todos estes universos que proliferam. Contudo, a equação de onda de Schrödinger fá-lo automaticamente. Seguindo simplesmente a evolução da função de onda, encontramos imediatamente todos os numerosos ramos da onda.)

Se esta interpretação está correcta, então neste preciso momento o nosso corpo coexiste com as funções de onda dos dinossáurios num combate mortal. Coexistindo na sala em que nos encontramos está a função de onda de um mundo onde os alemães ganharam a Segunda Guerra Mundial, onde passeiam alienígenas, um mundo

onde nós nunca nascemos. Os mundos de O Homem do Castelo Alto e Twilight Zone estão entre os universos que existem no nosso quarto. O problema é que se torna impossível interagir com eles, uma vez que eles estão em decoerência connosco.

Como Alan Guth disse: «Há um Universo onde Elvis ainda está vivo.»[23] O físico Frank Wilczek escreveu: «Somos perseguidos pela consciência de que um número infinito de cópias ligeiramente diferentes de nós vive as suas vidas paralelas e que a sua existência duplica a cada momento e toma todas as nossas numerosas alternativas futuras.»[24] Acrescenta ainda que a história da civilização grega e, portanto, do mundo ocidental, teria sido diferente se Helena de Tróia não tivesse uma beleza tão arrebatadora, e, em vez disso, tivesse uma feia verruga no nariz. Bem, as verrugas podem ser causadas por mutações de células e, muitas vezes, são provocadas pela exposição aos raios ultravioleta do Sol.» E continua: «Em conclusão: há muitos,

muitos mundos onde Helena de Tróia tem uma verruga na ponta do nariz.»

Recordo a passagem da obra clássica de ficção científica de Olaf Stapledon, Star Maker: «Sempre que uma criatura se confrontava com várias possibilidades de agir, escolhia-as todas, criando assim muitas ... histórias distintas do cosmos. Uma vez que em cada sequência evolutiva do cosmos havia muitas criaturas e cada uma delas se confrontava constantemente com muitas possibilidades diferentes e as combinações de todas essas possibilidades eram inúmeras, uma infinidade de universos distintos decorria em todos os momentos de todas as sequências temporais.»[25]

A mente vacila quando compreendemos que, de acordo com esta interpretação da mecânica quântica, todos os mundos possíveis coexistem connosco. Embora os buracos de verme possam ser necessários para atingir alguns mundos alternativos, estas realidades quânticas existem na mesma sala em que vivemos. Coexistem

connosco, para onde quer que vamos. A questão chave é: se isto é verdade, porque é que não vemos estes universos alternativos preenchendo a nossa sala? É aqui que entra a decoerência: a nossa função de onda desligou-se desses outros mundos (isto é, as ondas já não estão em fase umas com as outras). Já não estamos em contacto com eles. Isto significa que a mais leve contaminação com o meio impedirá que as várias funções de onda interajam umas com as outras. (No capítulo II, menciono uma excepção possível a esta regra, na qual os seres humanos talvez possam viajar entre realidades quânticas.)

Isto parece demasiado estranho para ser possível? Steven Weinberg, premiado com o Nobel, compara esta teoria de universos múltiplos com a rádio. Em toda a nossa volta, há centenas de ondas de rádio diferentes que são transmitidas de estações diferentes. Num dado instante, o nosso gabinete, o nosso carro ou a nossa sala estão cheios dessas ondas de rádio. Contudo, se ligarmos um aparelho de rádio, apenas ouviremos

uma frequência de cada vez; outras frequências entraram em decoerência e já não estão em fase umas com as outras. Cada estação tem uma energia e uma frequência diferentes. Consequentemente, o aparelho de rádio apenas pode transmitir um programa de cada vez.

De modo análogo, no nosso Universo estamos «sintonizados» na frequência que corresponde à realidade física. Mas há um número infinito de realidades paralelas que coexistem connosco na mesma sala, embora não possamos «sintonizá-las». Embora estes mundos sejam muito semelhantes, cada um deles tem uma energia diferente. E como cada mundo consiste em triliões e triliões de átomos, isto significa que a diferença de energia pode ser muito grande. Uma vez que a frequência destas ondas é proporcional à sua energia (pela lei de Planck), isto significa que as ondas de cada mundo têm frequências diferentes e já não podem continuar a interagir. Para todos os fins, as ondas destes vários mundos

não interagem nem se influenciam umas às outras.

Surpreendentemente, os cientistas, ao adoptarem este estranho ponto de vista, podem voltar a deduzir todos os resultados da abordagem de Copenhaga sem ser necessário colapsar a função de onda. Por outras palavras, as experiências feitas com a interpretação de Copenhaga, ou com a interpretação de muitos mundos, produzirá exactamente os mesmos resultados experimentais. O colapso de Bohr da função de onda é matematicamente equivalente à contaminação com o meio. Por outras palavras, o gato de Schrödinger pode estar morto e vivo ao mesmo tempo se, de algum modo, pudermos isolar o gato da possível contaminação de todos os átomos ou raios cósmicos. Claro que isto é praticamente impossível. Uma vez que o gato está em contacto com um raio cósmico, a função de onda do gato vivo e do gato morto entram em decoerência e a função de onda parece ter sofrido um colapso.

«IT FROM BIT»

Com toda a renovação do interesse pelo problema da medição na teoria quântica, Wheeler tomou-se o grande herói da física quântica, tendo surgido numerosas conferências em sua homenagem. Chegou a ser aclamado como uma espécie de guru pelos defensores da New Age que estavam fascinados pela questão da consciência em Física. (Contudo, ele nem sempre gostou destas associações. Uma vez, ficou aborrecido por ter de participar num mesmo programa com três parapsicólogos. Imediatamente proferiu uma afirmação que continha a frase: «Onde há fumo, há fumo.»)[26]

Ao fim de setenta anos a procurar os paradoxos da teoria quântica, Wheeler é o primeiro a admitir que não tinha todas as respostas. Continua a questionar as suas hipóteses. Quando interrogado acerca do problema da medição em mecânica quântica, costuma dizer: «Estou a ficar louco com esta questão. Confesso que, por vezes, levo cem por cento a sério a ideia de que o mundo é uma invenção da imaginação e, outras vezes, que

o mundo existe, independentemente de nós. No entanto, subscrevo de todo o coração estas palavras de Leibniz: 'Este mundo pode ser um fantasma e a existência pode não passar de um sonho, mas este sonho ou este fantasma é para mim bastante real se, ao usarmos bem a razão, não formos enganados por ela?»[27]

Hoje a teoria de muitos mundos paralelos com a decoerência está a ganhar popularidade entre os físicos. Mas Wheeler está preocupado por exigir «demasiada bagagem». Ele está também a brincar com uma outra explicação do problema do gato de Schrödinger, a que chama «it from bit». É uma teoria não ortodoxa, que começa pela hipótese de que a informação está na raiz de tudo. Quando olhamos para a Lua, para uma galáxia ou para um átomo, a sua essência, diz ele, está na informação armazenada no seu interior. Mas esta informação ganha existência quando o Universo se observa a si próprio. Ele traça um diagrama circular que representa a história do Universo. No começo do Universo,

ele ganhou existência, porque foi observado. Isto significa que «it» (a matéria do Universo) ganha existência quando a informação («bit») do Universo foi observada. Chamou-lhe «Universo participativo», de acordo com a ideia de que ele se adapta a nós da mesma maneira que nós nos adaptamos a ele. É a nossa presença que toma o Universo possível. (Como não há consenso universal sobre o problema da medição em mecânica quântica, a maior parte dos físicos assume uma atitude de «esperar para vem perante o «it from bit».)

COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E TELETRANSPORTE

Estas discussões filosóficas podem parecer desesperadamente impraticáveis, desprovidas de qualquer aplicação prática no mundo. Em vez de debater quantos anjos podem dançar na cabeça de um alfinete, os físicos quânticos parecem andar a debater em quantos lugares um electrão pode estar ao mesmo tempo.

No entanto, estas não são reflexões ociosas de académicos numa torre de marfim. Um dia, poderão ter a maior das aplicações práticas: reger a economia mundial. Um dia, a riqueza das nações pode depender das subtilezas do gato de Schrödinger. Nessa altura, talvez os nossos computadores estejam a trabalhar em universos paralelos. Quase toda a infra-estrutura dos nossos computadores se baseia hoje em transístores de silício. A lei de Moore, que diz que a capacidade de cálculo dos computadores duplica de dezoito em dezoito meses, deve-se à nossa capacidade de gravar transístores cada vez mais pequenos em chips de silício através de feixes de radiação ultravioleta. Embora a lei de Moore tenha revolucionado o panorama tecnológico, não pode continuar para sempre. O chip Pentium mais avançado tinha uma camada com a espessura de 20 átomos. Dentro de quinze a vinte anos, os cientistas podem estar a fazer cálculos em chips com talvez de 5 átomos de espessura. A estas distâncias incrivelmente pequenas, temos de

abandonar a mecânica newtoniana e adaptar a mecânica quântica, onde é válido o princípio da incerteza de Heisenberg. Consequentemente, já não sabemos com precisão onde está o electrão. Isto significa que podem ocorrer curtoscircuitos quando os electrões saem dos isoladores e dos semicondutores em vez de ficarem dentro deles.

No futuro, alcançaremos os limites da gravação em bolachas de silício. A Idade do Silício chegará em breve ao fim. Talvez já se esteja a anunciar a era quântica. Silicon Valey transformar-se-á numa Rust Belt (área no norte dos Estados Unidos que sofre desindustrialização). Um dia, poderemos ser forçados a calcular nos próprios átomos, introduzindo uma nova arquitectura de computação. Os computadores hoje baseiam-se no sistema binário - cada número é codificado em zeros e uns. Os átomos, no entanto, podem ter o seu spin dirigido para cima, para baixo ou para o lado, simultaneamente. Os bits dos computadores (O e 1) podem ser substituídos por «qubits» (algo entre 0 e 1), tomando

a computação quântica muito mais poderosa do que a dos computadores comuns.

Um computador quântico, por exemplo, podia abalar os fundamentos da segurança internacional. Hoje, os grandes bancos, as empresas multinacionais e as nações industriais codificam os seus segredos com complexos algoritmos de computador. Muitos códigos secretos são baseados na factorização de números muito grandes. Seriam necessários séculos, por exemplo, para que um computador comum decompusesse em factores um número com 100 dígitos. Mas um computador quântico faria esses cálculos sem qualquer esforço, podendo desvendar os códigos secretos.

Para vermos como funcionaria um computador quântico, suponhamos que alinhamos uma série de átomos com os seus spins apontados na direcção de um campo magnético. Depois, fazemos incidir sobre eles um feixe de laser, de modo a que muitos dos spins mudem de direcção quando o feixe de laser se reflecte nos átomos.

Medindo a luz do laser reflectida, registamos uma operação complexa, a dispersão da luz nos átomos. Se calcularmos este processo usando a teoria quântica, seguindo Feynman, temos de adicionar todas as eventuais posições dos átomos, girando em todas as direcções possíveis. Mesmo um simples cálculo quântico, que duraria uma fracção de segundo, seria quase impossível de executar num computador padrão, independentemente do tempo que lhe for concedido.

Em princípio, como David Deutch de Oxford sublinhou, isto significa que quando usamos computadores quânticos, temos de somar todos os universos paralelos possíveis. Embora não possamos contactar directamente com estes universos alternativos, um computador atómico podia calculá-los usando os estados de spin que existem nos universos paralelos. (Embora já não estejamos em coerência com os outros universos na nossa sala, os átomos de um computador quântico estão, por construção, vibrando coerentemente em uníssono).

Embora o potencial dos computadores quânticos seja verdadeiramente surpreendente, na prática, os seus problemas são igualmente grandes. No presente, o registo mundial do número de átomos usados num computador quântico é de sete. Na melhor das hipóteses, podemos multiplicar três por cinco, para obter quinze num computador quântico, o que é muito pouco impressionante. Para que um computador quântico seja competitivo com um laptop comum, precisaríamos de centenas, talvez milhões de átomos a vibrar coerentemente. Como até a colisão com uma simples molécula de ar pode fazer com que os átomos entrem em decoerência, teríamos de ter condições extraordinariamente excepcionais para isolar do meio ambiente os átomos a testar. (Para construir um computador quântico que excedesse a velocidade dos computadores modernos seriam necessários milhares ou milhões de átomos, pelo que a computação quântica ainda está a décadas de distância).

TELETRANSPORTE QUÂNTICO

Finalmente, talvez haja outra aplicação prática da discussão dos físicos, aparentemente inútil, sobre universos paralelos quânticos: o teletransporte quântico. O «transportador» usado em Star Trek e outras séries de ficção científica para levar pessoas e equipamento através do espaço parece uma maneira maravilhosa de percorrer velozmente grandes distâncias. Mas, embora pareça excitante, a ideia de teleportação surpreendeu os físicos, porque parecia violar o princípio da incerteza. Ao fazermos uma medição num átomo, perturbamos o estado do átomo, pelo que não podemos fazer uma cópia exacta.

Mas, em 1993, os cientistas descobriram uma falha neste argumento, através de uma coisa chamada confusão quântica. Baseia-se numa velha experiência proposta em 1935 por Einstein e pelos seus colegas Boris Podolsky e Nathan Rosen (o chamado paradoxo EPR) para mostrar quão louca é, na realidade, a teoria quântica. Suponhamos que há uma explosão e dois electrões separam-se em direcções opostas,

movendo-se com velocidade próxima da velocidade da luz. Como os electrões podem girar como um pião imparável, suponhamos que os spins estão correlacionados , isto é, se um electrão tem o seu eixo de rotação apontado para cima, o outro electrão gira com o seu eixo para baixo (deste modo, o spin total é zero). No entanto, antes de fazermos uma medição, não sabemos em que direcção cada electrão está a girar.

Agora esperemos vários anos. Nessa altura, os dois electrões estão a muitos anos-luz de distância um do outro. Se agora medirmos a rotação de um electrão e verificarmos que o seu eixo de rotação aponta para cima, sabemos imediatamente que o outro electrão está a girar para baixo (e vice-versa). Com efeito, o facto de se verificar que o electrão está a girar para cima obriga o outro electrão a girar para baixo. Isto significa que agora sabemos instantaneamente alguma coisa acerca de um electrão que se encontra a muitos anos-luz de distância. (A informação, ao que parece, viajou mais depressa do que a luz,

violando, aparentemente, a relatividade restrita de Einstein.) Através de um raciocínio subtil, Einstein podia mostrar que, fazendo sucessivas medições num par, era possível violar o princípio da incerteza. O mais importante é que ele mostrou que a mecânica quântica é mais bizarra do que tinha pensado.

Até então, os físicos acreditavam que o Universo era local, que as perturbações numa parte do Universo se espalhariam apenas localmente a partir da fonte. Einstein mostrou que a mecânica quântica é essencialmente não local - as perturbações provenientes de uma fonte podem afectar instantaneamente partes distantes do Universo. Einstein chamoulhe «acção fantasmagórica à distância», que segundo ele era absurda. Assim, pensava Einstein, a teoria quântica devia estar errada.

(As críticas da mecânica quântica podiam resolver o paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen admitindo que, se os nossos instrumentos fossem suficientemente sensíveis, podiam realmente

determinar em que sentido os electrões giravam. A aparente incerteza do spin e da posição de um electrão era uma ficção, devido ao facto de os nossos instrumentos serem demasiado imperfeitos. Introduziram o conceito de variáveis escondidas, isto é, deve existir uma teoria subquântica escondida, na qual não há nenhuma incerteza, baseada em novas variáveis chamadas variáveis ocultas.)

As apostas subiram muito em 1964, quando o físico John Bell submeteu o EPR e as variáveis escondidas a um teste decisivo. Mostrou que se alguém realizasse a experiência EPR, deveria haver uma correlação numérica entre as rotações dos dois electrões, que dependeria da teoria utilizada. Se a teoria das variáveis escondidas estivesse correcta, como os cépticos acreditavam, então as rotações estariam correlacionadas num sentido. Se a mecânica quântica estivesse correcta, as rotações deveriam estar correlacionadas noutro sentido. Por outras palavras, a mecânica quântica (base de toda a moderna física atómica)

erguer-se-ia ou desmoronar-se-ia com base numa única experiência.

Mas as experiências provaram conclusivamente que Einstein estava enganado. No princípio da década de 1980, Alan Aspect e seus colegas em França realizaram a experiência EPR com dois detectores a 13 metros de distância um do outro, que mediram os spins dos fotões emitidos por átomos de cálcio. Em 1997, a experiência EPR foi realizada com detectores a 11 quilómetros de distância um do outro. A teoria quântica triunfou sempre. Uma certa forma de conhecimento viaja mais depressa do que a luz. (Embora Einstein estivesse enganado em relação à experiência EPR, estava certo na questão maior da comunicação mais rápidado que a luz. A experiência EPR, embora permita saber imediatamente alguma coisa acerca do outro lado da galáxia, não permite enviar uma mensagem desta maneira. Não podemos, por exemplo, enviar código Morse. De facto, um «transmissor EPR» enviaria apenas sinais ocasionais, uma vez que os spins

medidos são aleatórios cada vez que fazemos uma medição. A experiência EPR permite adquirir informação sobre o outro lado da Galáxia, mas não permite transmitir informação útil, isto é, não aleatória.)

Bell gostava de descrever o efeito usando o exemplo de um matemático chamado Bertelsman. Este tinha o estranho hábito de usar todos os dias uma meia verde num pé e uma meia azul no outro pé, aleatoriamente. Se se souber que um dia usa uma meia azul no pé esquerdo, sabese imediatamente, mais rapidamente do que a velocidade da luz, que a outra meia é verde. Mas saber isto não permite que se comunique informação desta maneira. Revelar informação não é o mesmo que enviála. A experiência EPR não significa que possamos comunicar informação através de telepatia, viajar mais depressa do que a luz ou viajar no tempo. Mas tal não significa que seja impossível que nos separemos completamente do Universo.

Isto obriga-nos a defender uma representação diferente do Universo. Há um «entrelaçamento» cósmico entre cada átomo do nosso corpo e os átomos que estão a anos-luz de distância. Uma vez que toda a matéria provém de uma única explosão, o big bang, em certo sentido, os átomos do nosso corpo estão ligados a alguns átomos do outro lado do Universo numa espécie de rede quântica à escala cósmica. Partículas intrincadas comportam-se, de algum modo, como gémeos ainda ligados por um cordão umbilical (a sua função de onda) que pode ter anos-luz de comprimento. O que acontece a um membro afecta automaticamente o outro, e, por isso, o conhecimento relativo a uma partícula fornece automaticamente conhecimento sobre o su par. Os pares intrincados actuam como se fossem um objecto único, embora possam estar separadas por uma grande distância. (Mais precisamente, uma vez que as funções de onda das partículas no big bang estiveram outrora conectadas e eram coerentes, as suas funções de onda ainda podem

estar parcialmente conectadas milhares de milhões de anos após do big bang, pelo que as perturbações numa parte da função de onda podem influenciar outra parte distante dessa função).

Em 1993, os cientistas propuseram que o conceito de entrelaçamento EPR fosse usado para fornecer um mecanismo para o teletransporte quântico. Em 1997 e 1998, os cientistas do Cal Tech, da Universidade de Aahrus, na Dinamarca, e da Universidade de Gales fizeram a primeira demonstração experimental da teleportação quântica quando um único fotão foi teletransportado sobre uma mesa. Samuel Braunstein, da Universidade de Gales, que fazia parte desta equipa, comparou os pares entrelaçados a amantes «que se conhecem tão bem um ao outro que podiam responder um pelo outro mesmo que separados por uma grande distância».[28]

(As experiências de teletransporte quântico requerem três objectos, chamados A, B e C. Sejam B e C dois gémeos que estão entrelaçados. Embora B e C possam estar a uma grande

distância um do outro, continuam ligados um ao outro. Agora suponhamos que B está em contacto com A, que é o objecto a teletransportar. B «digitaliza» A, pelo que a informação contida em A é transferida para B. Esta informação é então transferida automaticamente para o gémeo C. Assim, C transforma-se numa réplica exacta de A.)

O progresso do teletransporte quântico tem sido rápido. Em 2003, cientistas da Universidade de Genebra na Suíça, conseguiram teleportar fotões à distância de 2 quilómetros através de um cabo de fibra óptica. Os fotões de luz (com um comprimento de onda de 1,3 mm) num laboratório foram teletransportados em fotões de luz de comprimento de onda diferente (1,55 mm) para um outro laboratório ligado por este enorme cabo. Nicolas Gisin, um dos físicos deste projecto, disse: «Possivelmente, objectos maiores, como uma molécula, serão teletransportados ainda durante a minha vida, mas objectos

consideravelmente maiores não serão teleportados com tecnologias previsíveis.»

Outra descoberta significativa ocorreu em 2004, quando os cientistas do National Institute of Standards and Technology (NIST) teletransportaram não só um quantum de luz mas um átomo inteiro. Ligaram, com sucesso, três átomos de berílio e conseguiram transferir as características de um átomo para outro, um feito surpreendente.

As aplicações práticas do teletransporte quântico são potencialmente enormes. No entanto, deveremos sublinhar que há alguns problemas práticos no teletransporte quântico. Em primeiro lugar, o objecto original é destruído durante o processo, pelo que não é possível fazer cópias do objecto teletransportado. Apenas é possível fazer uma cópia. Em segundo lugar, não é possível teletransportar um objecto mais depressa do que a luz. A relatividade continua válida mesmo para o teletransporte quântico. (Para teletransportar o objecto A para o objecto C, ainda

precisamos de um objecto intermediário B que ligue os dois e que viaje com velocidade inferior à da luz.) Em terceiro lugar, talvez a limitação mais importante do teletransporte quântico seja a mesma que a computação quântica enfrenta: os objectos em questão devem estar ligados. A mais ligeira contaminação do meio destruirá o teletransporte quântico. Mas é concebível que no século XXI o primeiro vírus possa ser teletransportado.

Teletransportar um ser humano pode levantar outros problemas. Braunstein observa: «A chave por agora é a pequena quantidade de informação envolvida. Mesmo com os melhores canais de comunicação que podemos conceber, transferir toda essa informação demoraria a idade do Universo.»

FUNÇÃO DE ONDA DO UNIVERSO

Mas a realização definitiva da teoria quântica talvez surja quando aplicarmos a mecânica quântica não só aos fotões individuais mas a todo o Universo. Stephen Hawking gracejou dizendo

que sempre que ouvia falar no problema do gato procurava agarrar uma arma. Propôs a sua própria solução para o problema - ter uma função de onda de todo o Universo. Se todo o Universo for objecto da função de onda, não há necessidade de um observador (que tem de existir fora do Universo).

Na teoria quântica, toda a partícula está associada a uma onda. A onda, por sua vez, diz-nos a probabilidade de encontrar a partícula em qualquer ponto. Contudo, quando o Universo era muito jovem, era mais pequeno do que uma partícula subatómica. Por conseguinte, talvez o Universo tivesse uma função de onda. Uma vez que o electrão pode existir em muitos estados ao mesmo tempo, e uma vez que o Universo era mais pequeno do que um electrão, talvez o Universo também existisse simultaneamente em muitos estados, descritos por uma superfunção de onda.

Isto é uma variação da teoria de muitos mundos: não é necessário invocar um observador

cósmico que possa observar todo o Universo de uma só vez. Mas a função de onda de Hawking é muito diferente da função de onda de Schrödinger. Na função de onda de Schrödinger, em cada ponto do espaço-tempo, há uma função de onda. Na função de onda de Hawking, para cada Universo, há uma função de onda. Em vez da função ? de Schrödinger que descreve todos os estados possíveis do electrão, Hawking introduz uma função ? que representa todos os estados possíveis do Universo. Na mecânica quântica comum, o electrão existe no espaço comum. Contudo, na função de onda do Universo, a função de onda existe no «super-espaço>>, o espaço de todos os universos possíveis, introduzido por Wheeler.

Esta função de onda principal (a mãe de todas as funções de onda) não obedece à equação de Schrödinger (que apenas funciona para electrões individuais), mas à equação de Wheeler-DeWitt, que funciona para todos os universos possíveis. No princípio da década de 1990, Hawking

escreveu que era capaz de resolver parcialmente a sua função de onda do Universo e mostrar que o Universo mais provável tinha uma constante cosmológica em decaimento. Este artigo provocou bastante controvérsia, porque dependia da soma de todos os universos possíveis. Hawking efectuou esta soma incluindo buracos de verme que ligavam o nosso Universo a todos os universos possíveis. (Imaginemos um mar infinito de bolhas de sabão que flutuam no ar, ligadas umas às outras por finos filamentos ou buracos de verme, que depois se juntam todas).

Finalmente, levantaram-se dúvidas sobre o ambicioso método de Hawking. Salientou-se que a soma de todos os universos possíveis era matematicamente falível, pelo menos até termos uma «teoria de tudo» que nos guiasse. Até que seja construída uma teoria de tudo, os críticos argumentam que não é possível confiar em quaisquer cálculos acerca de máquinas do tempo, de buracos de verme, do instante do big bang e das funções de onda do Universo.

Contudo, hoje, alguns físicos acreditam que, finalmente, descobrimos a teoria de tudo, embora ela ainda não esteja na sua forma final: teoria de cordas ou teoria M. Será que ela nos permitirá «ler a mente de Deus» tal como Einstein acreditava?

CAPÍTULO SETE
Teoria M: A Mãe de Todas as Cordas

Quem pudesse apreender o Universo de um ponto de vista unificado veria toda a criação como uma verdade e uma necessidade únicas.

J. D'Alembert

Sinto que estamos tão perto da teoria de cordas que - nos momentos de maior optimismo - imagino que, qualquer dia, a forma final da

teoria poderá cair do céu e vir parar às mãos de uma pess-oa. Mas, de forma mais realista, sinto que es-tamos agora em vi-as de con-struir uma teoria

muito mais pro- funda do que qualquer outra que já tive- mos e que, no século XXI, quando eu for de- masi- ado velho para ter pensamentos úteis sobre o as- sunto,

os físicos mais jovens terão de decidir se, de facto, descobrimos a teoria final.

Edward Witten

O ROMANCE CLÁSSICO DE H. G. WELLS DE 1897, **O Homem Invisível**, começa com uma história estranha. Num dia frio e invernoso, um estranho vestido de maneira bizarra surge da escuridão. Uma faixa branca cobre-lhe todo o rosto e usa óculos azuis-escuros.

Inicialmente, os habitantes da vila tiveram pena dele, pensando que tinha sido vítima de um acidente terrível. Mas começam a acontecer coisas estranhas em redor da vila. Um dia, a

estalajadeira, quando entrou no quarto vazio, desatou aos gritos ao ver que as roupas se moviam sozinhas. Chapéus rodopiavam pelo quarto, as roupas da cama erguiam-se no ar, as cadeiras moviam-se e «a mobília tinha enlouquecido», lembrava ela horrorizada.

Em breve, os rumores destas ocorrências estranhas espalharamse por toda a vila. Finalmente, um grupo de habitantes reúne-se e enfrenta o misterioso estrangeiro. Para espanto de todos, ele começa a desenrolar lentamente as faixas. A multidão está horrorizada. Sem as faixas, o rosto do estranho era, de facto, invisível. O caos instala-se, as pessoas gritam e perseguem o homem invisível, que facilmente lhes escapa.

Depois de cometer uma porção de pequenos crimes, o homem invisível procura um velho conhecido e conta-lhe a sua estranha história. O seu verdadeiro nome é Mr. Griffen, do University College. Embora tenha começado a estudar medicina, descobriu uma maneira revolucionária de mudar as propriedades refractivas e reflexivas da

carne. O seu segredo é a quarta dimensão. Exclama para o dr. Kemp: «Descobri um princípio geral... uma fórmula, uma expressão geométrica, que envolve quatro dimensões.»[1]

Tristemente, em vez de usar esta grande descoberta em beneficio da humanidade, usa-a para roubar e enriquecer facilmente. Quer que o seu amigo se tome seu cúmplice. Juntos, diz ele, podem saquear o mundo. Mas o amigo fica horrorizado e denuncia Mr. Griffen à polícia. Seguese uma perseguição e o homem invisível é ferido mortalmente.

Como nos melhores romances de ficção científica, também muitas das histórias de H. G. Wells têm uma base científica. Quem for capaz de penetrar na quarta dimensão espacial (ou aquilo a que hoje se chama a quinta dimensão, sendo o tempo a quarta dimensão) pode, de facto, tomar-se invisível e pode mesmo assumir os poderes normalmente atribuídos aos fantasmas e aos deuses. Imaginemos que uma raça de seres míticos pode habitar o mundo bidimensional da

superficie de uma mesa, como no romance de Edwin Abbot, de 1884, Flatland: O País Plano. Esses seres vivem sem saberem que todo um Universo, com a terceira dimensão, os envolve.

Mas se um cientista do País Plano pudesse realizar uma experiência que lhe permitisse percorrer algumas polegadas acima da mesa, tornar-se-ia invisível, porque a luz passaria debaixo dele, como se ele não existisse. Flutuando acima do País Plano, ele podia ver os acontecimentos que se desenrolavam sobre a superficie da mesa. Pairar no hiperespaço traz vantagens, porque quem olha do hiperespaço «para baixo» tem os poderes de um deus.

A luz não só passaria por baixo dele, tomando-o invisível, como ele poderia passar através dos objectos. Por outras palavras, ele podia desaparecer quando quisesse atravessar as paredes. Saltando simplesmente para a terceira dimensão, desapareceria do Universo do País Plano. E se ele saltasse para trás na superficie da mesa, voltaria a materializarse do nada. Por

conseguinte, podia escapar de qualquer prisão. Uma prisão no País Plano consistiria num círculo desenhado em redor de um prisioneiro, pelo que seria fácil saltar para a terceira dimensão e ficar livre.

Seria impossível manter segredos escondidos de um hiperser. O ouro que estivesse fechado numa caverna podia ser facilmente visto de um ponto de observação da terceira dimensão, uma vez que a caverna é apenas um rectângulo aberto. Entrar no rectângulo e tirar o ouro sem arrombar a caverna seria uma brincadeira de crianças. Seria possível fazer operações cirúrgicas sem cortar a pele.

De modo análogo, H. G. Wells quis veicular a ideia de que, num mundo quadridimensional, somos os habitantes de um País Plano, esquecidos de que planos superiores de existência podem pairar acima do nosso. Acreditamos que o nosso mundo apenas é constituído por tudo o que podemos ver, sem saber que podem existir universos inteiros mesmo diante do nosso nariz.

Embora outro Universo possa estar apenas alguns centímetros acima de nós, flutuando na quarta dimensão, ele será invisível para nós.

Como um hiperser teria poderes sobre-humanos geralmente atribuídos a um fantasma ou a um espírito, noutra história de ficção científica, H. G. Wells ponderou a questão de saber se os seres sobrenaturais poderiam habitar dimensões superiores. Levantou uma questão chave que é hoje motivo de grande especulação e pesquisa: existirão novas leis da física nestas dimensões superiores? No seu romance de 1895, The Wonderful Visit, um pároco atinge acidentalmente um anjo com uma arma, que está a passar ocasionalmente na nossa dimensão. Por alguma razão cósmica, a nossa dimensão e um Universo paralelo colidiram temperariamente, fazendo com que o anjo caísse no nosso mundo. Na história, escreve Wells, «Talvez haja um número de universos tridimensionais empilhados uns sobre os outros.»[2] O pároco interroga o anjo ferido e fica chocado ao descobrir que as nossas leis da Natureza não

se aplicam ao mundo do anjo. No seu Universo, por exemplo, não há planos mas cilindros, pelo que o próprio espaço é curvo. (Uns bons vinte anos antes da teoria da relatividade geral de Einstein, Wells imaginava universos que existiam em superfícies curvas.). Segundo o pároco, «a sua geometria é diferente, porque o seu espaço é curvo, pelo que todos os seus planos são cilindros; e a sua lei da gravitação não está de acordo com a lei do inverso do quadrado, e há vinte e quatro cores primárias em vez de apenas três.» Hoje, mais de um século depois de Wells ter escrito a sua história, os físicos compreendem que novas leis da física, com diferentes conjuntos de partículas subatómicas, átomos e interacções químicas podem, de facto, existir em universos paralelos. (Como veremos no capítulo 9, estão agora a ser realizadas várias experiências para detectar universos paralelos que podem estar por cima do nosso.)

O conceito de hiperespaço intrigou artistas, músicos, místicos, teólogos e filósofos, em

particular nos finais do século xrx. De acordo com a historiadora de arte Linda Dalrymple Henderson, o interesse de Pablo Picasso pela quarta dimensão influenciou a criação do cubismo. (Os olhos das mulheres que ele pintou olham directamente para nós, embora os seus narizes estejam voltados para o lado, permitindo-nos ver as mulheres completas. De modo semelhante, um hiperser que olhe para baixo, para nós, ver-nos-á completamente: frente, costas e lados, simultaneamente.) Na famosa pintura Christus Hypercubus, Salvador Dalí pintou Jesus Cristo crucificado num hipercubo quadridimensional ou uma tesserata. No quadro A Persistência da Memória, Dalí tentou veicular a ideia do tempo como a quarta dimensão com relógios liquefeitos. Na pintura de Marcel Duchamp Nu a Descer as Escadas (n.º 2), vemos um nu em movimento em câmara lenta, descendo as escadas, numa outra tentativa de capturar a quarta dimensão do tempo numa superfície bidimensional.

TEORIA M

Hoje, o mistério e o saber relativos à quarta dimensão estão a ressurgir por uma razão completamente diferente: o desenvolvimento da teoria de cordas e a sua última incarnação, a teoria M. Historicamente, o conceito de hiperespaço tem resistido corajosamente aos físicos; troçaram das dimensões superiores, alegando que eram domínio de místicos e de charlatães. Os cientistas que levaram a sério a existência de mundos invisíveis foram ridicularizados.

Com o aparecimento da teoria M, tudo isso mudou. As dimensões superiores estão agora no centro de uma profunda revolução na Física, porque os físicos são obrigados a confrontarem-se com o maior problema da Física actual: o abismo entre a relatividade geral e a teoria quântica. Curiosamente, estas duas teorias compreendem a soma total de todo o conhecimento da Física acerca do Universo ao nível fundamental. Actualmente, só a teoria M tem a capacidade de unificar estas duas grandes teorias do Universo, aparentemente contraditórias, num

todo coerente, para criar uma «teoria de tudo». De todas as teorias propostas no século passado, a única candidata que pode eventualmente «ler a mente de Deus», como Einstein disse, é a teoria M.

Apenas no hiperespaço de dez ou onze dimensões temos «espaço suficiente» para unificar todas as forças da natureza numa única teoria elegante. Uma teoria tão fabulosa poderia responder às questões eternas: O que aconteceu antes do começo? O tempo pode ser invertido? Podem os portais dimensionais transportar-nos através do Universo? (Embora os críticos salientem que testar esta teoria está para além da nossa capacidade actual, projectam-se hoje muitas experiências que podem alterar esta situação (como veremos no capítulo 9).

Todas as tentativas dos últimos cinquenta anos para criar uma descrição verdadeiramente unificada do Universo terminaram num enorme fracasso. Conceptualmente, isto é fácil de compreender. A relatividade geral e a teoria quântica

são diametralmente opostas em quase todos os aspectos. A relatividade geral é uma teoria do muito grande: buracos negros, big bangs, quasares e o Universo em expansão. Baseia-se na matemática das superficies uniformes, como lençóis e redes de circo. A teoria quântica é precisamente o contrário: descreve o mundo do muito pequeno: átomos, protões, neutrões e quarks. Baseia-se numa teoria de pacotes discretos de energia chamados quanta. Ao contrário da relatividade, a teoria quântica diz apenas que podemos calcular a probabilidade dos eventos, pelo que, nunca podemos saber a posição exacta de um electrão. Estas duas teorias baseiam-se em matemáticas diferentes, em hipóteses diferentes, em princípios físicos diferentes e em domínios diferentes. Não surpreende que todas as tentativas para as unificar tenham falhado.

Os gigantes da Física -Erwin Schrödinger, Wemer Heisenberg, Wolfgang Pauli e Arthur Eddington -que seguiram Einstein, tentaram elaborar uma teoria unificada, mas infelizmente

falharam. Em 1928, Einstein gerou acidentalmente o pânico na comunicação social com uma primeira versão da sua teoria do campo unificado. O New York Times chegou a publicar excertos do seu artigo, incluindo as equações. Mais de uma centena de repórteres apinharam-se à sua porta. Escrevendo de Inglaterra, Eddington comentava a Einstein: «Deve ficar divertido ao saber que um dos nossos maiores armazéns em Londres (Selfridges) colocou na montra o seu artigo (as seis páginas ao lado umas das outras) pelo que quem lá passar pode lê-lo todo. Grandes multidões apinhavam-se para o ler.»[3]

Em 1946, Erwin Schrödinger também apanhou o bicho e descobriu aquilo que ele pensava ser a fabulosa teoria do campo unificado. Precipitadamente, fez uma coisa bastante invulgar para o seu tempo (mas que não é assim tão invulgar hoje): convocou uma conferência de imprensa. Até o primeiro-ministro irlandês, Eamon De Valera, apareceu para ouvir Schrödinger. Quando lhe perguntaram se tinha a certeza de ter chegado

à teoria do campo unificado, ele respondeu: «Julgo que estou certo. Acho que estarei completamente doido se estiver errado».[4] (O New York Times acabou por saber da conferência de imprensa e enviou o manuscrito a Einstein e a outros para que o comentassem. Infelizmente, Einstein compreendeu que Schrödinger tinha redescoberto uma velha teoria que ele próprio propusera alguns anos antes e acabara por rejeitar. Einstein deu uma resposta delicada, mas Schrödinger sentiu-se humilhado.)

Em 1958, o físico Jeremy Bernstein participou numa conferência na Universidade de Columbia, onde Wolfgang Pauli apresentava a sua versão da teoria do campo unificado, que desenvolvera com Wemer Heisenberg. Niels Bohr, que se encontrava presente, não ficou nada impressionado. Finalmente, Bohr levantou-se e disse: «Nós, no fundo, estamos convencidos de que a sua teoria é maluca. Mas o que nos divide é saber se a sua teoria é suficientemente maluca.»[5]

Pauli viu imediatamente o que Bohr queria dizer - que a teoria de Heisenberg-Pauli era demasiado convencional, demasiado comum para ser uma teoria do campo unificado. «Ler a mente de Deus» significaria introduzir processos matemáticos e ideias completamente diferentes. Muitos físicos estão convencidos de que uma teoria simples, elegante e atraente está por trás de tudo, que é suficientemente louca e absurda para ser verdadeira. John Wheeler, de Princeton, sublinha que, no século XIX, não parecia ser possível explicar a imensa diversidade da vida que se encontra na Terra. Mas, quando Charles Darwin introduziu a teoria da selecção natural, uma única teoria forneceu a arquitectura que explica a origem e a diversidade de toda a vida na Terra.

Steven Weinberg, galardoado com o Prémio Nobel, usa uma analogia diferente. Depois de Colombo, os mapas que traçavam em pormenor as façanhas dos primeiros exploradores europeus forneciam fortes indícios de que tinha de existir «um pólo norte», mas não havia provas directas

da sua existência. Como todos os mapas da Terra exibiam um enorme buraco onde devia estar localizado o pólo norte, os primeiros exploradores admitiram simplesmente que devia haver um pólo norte, embora nenhum deles o tivesse visitado. De modo semelhante, os físicos hoje, tal como os antigos exploradores, encontram provas indirectas que apontam para a existência de uma teoria de tudo, embora, no presente, não haja nenhum consenso universal sobre a natureza dessa teoria.

HISTÓRIA DA TEORIA DAS CORDAS

Uma teoria que é, sem dúvida, «bastante louca» para ser a teoria do campo unificado é a teoria de cordas ou teoria M. A teoria de cordas tem talvez a história mais bizarra dos anais da Física. Foi descoberta por puro acidente, aplicada ao problema errado, relegada para a obscuridade e subitamente ressuscitada como uma teoria de tudo. E, em última análise, porque é impossível fazer pequenos ajustamentos sem destruir a

teoria, será uma «teoria de tudo» ou uma «teoria de nada».

A razão desta estranha história é que a teoria de cordas tem sofrido retrocessos. Normalmente, numa teoria como a relatividade, começa-se pelos princípios físicos fundamentais. Depois, estes princípios são reduzidos a um conjunto de equações clássicas básicas. Por fim, calculam-se as flutuações quânticas destas equações. A teoria de cordas regrediu, tendo começado pela descoberta acidental da sua teoria quântica; os físicos ainda não sabem quais são os princípios físicos que podem orientar a teoria.

A origem da teoria de cordas remonta a 1968, quando dois jovens físicos do CERN, o laboratório de Física Nuclear, em Genebra, Gabriele Veneziano e Mahiko Suzuki, ao folhearem independentemente um livro de matemática, encontraram por acaso a função beta de Euler, uma obscura expressão matemática do século XVIII, descoberta por Leonard Euler, que, estranhamente, parecia descrever o mundo subatómico.

Ficaram admirados porque esta fórmula matemática abstracta parecia descrever a colisão de dois mesões π de alta energia. O modelo de Veneziano depressa causou grande sensação na Física, dando origem a centenas de artigos que tentaram generalizá-lo para descrever as forças nucleares.

Por outras palavras, a teoria foi descoberta por puro acidente. Edward Witten, do Instituto de Estudos Avançados (para muitos está na origem de várias descobertas espantosas da teoria), disse: «De facto, os físicos do século xx não deveriam ter tido o privilégio de estudar esta teoria. De facto, a teoria de cordas não devia ter sido inventada.»[6]

Lembro-me muito bem da excitação que a teoria de cordas provocou. Nessa altura, eu era ainda estudante de licenciatura em Física, na Universidade da Califórnia, em Berkeley, e lembro-me de ver os físicos a abanarem a cabeça, afirmando que a Física não devia ser assim. No passado, a Física assentava geralmente em

observações penosamente pormenorizadas da natureza, formulava algumas hipóteses parciais, testava cuidadosamente as ideias face aos dados, e o processo repetia-se monotonamente, vezes sem conta. A teoria de cordas era um método que procurava a melhor maneira de resolver um problema na base da simples conjectura. Não se pensava que estas excitantes descobertas fossem possíveis.

Como as partículas subatómicas não podem ser observadas directamente mesmo com os instrumentos mais poderosos de que dispomos, os físicos recorreram a uma maneira brutal, mas efectiva, de as analisar, esmagando-as em conjunto, submetendo-as a energias enormes. Gastaram-se milhares de milhões de dólares para construir enormes «esmagadores de átomos» ou aceleradores de partículas, com muitos quilómetros de diâmetro, para criar feixes de partículas subatómicas que colidem uns contra os outros. De seguida, os físicos analisam metodicamente os destroços da colisão. O objectivo deste árduo

processo é obter uma série de números, a chamada matriz de dispersão ou matriz S. Este conjunto de números é crucial, porque codifica a informação da física subatómica - isto é, uma vez conhecida a matriz S, é possível deduzir todas as propriedades das partículas elementares.

Um dos objectivos da física das partículas elementares é prever a estrutura matemática da matriz S das interacções fortes, um objectivo tão difícil que alguns físicos acreditavam estar para além da Física conhecida. É então possível imaginar a sensação causada por Veneziano e Suzuki quando, ao folhearem um livro de matemática, previram a matriz S.

O modelo era uma espécie completamente diferente de tudo o que já tínhamos visto até então. Geralmente, quando alguém propõe uma nova teoria (como os quarks), os físicos tentam manipular a teoria, mudando parâmetros simples (como a massa das partículas ou a intensidade de acoplamento). Mas o modelo de Veneziano estava tão bem arquitectado que a mais pequena

perturbação nas suas simetrias básicas arruinaria toda a fórmula. Como acontece com uma peça de cristal habilmente trabalhada, qualquer tentativa para alterar a sua forma acabaria por danificá-la.

Das centenas de artigos que modificaram trivialmente os seus parâmetros, destruindo, assim, a sua beleza, nenhum sobreviveu até hoje. Os únicos que ainda são recordados são aqueles que procuraram compreender porque é que a teoria funcionava bem - isto é, os que tentaram revelar as suas simetrias. Finalmente, os físicos ficaram a saber que a teoria não tinha quaisquer parâmetros ajustáveis.

O modelo de Veneziano, apesar de notável, apresentava alguns problemas. Em primeiro lugar, os físicos compreenderam que era apenas uma primeira aproximação à matriz S final e não o sistema completo. Bunji Sakita, Miguel Virasoro e Keiji Kikkawa, então na Universidade de Wisconsin, compreenderam que a matriz S podia ser vista como uma série infinita de termos, e que o modelo de Veneziano era apenas o primeiro e o

mais importante termo dessa série. (Falando claramente, cada termo da série representa as maneiras como as partículas podem colidir umas com as outras. Postularam algumas das regras através das quais era possível construir os termos superiores da sua aproximação. Na minha tese de doutoramento, decidi completar com rigor este programa e construir todas as correcções possíveis do modelo de Veneziano. Juntamente com o meu colega L. P. Yu, calculei o conjunto infinito de termos de correcção do modelo.)

Finalmente, Yoichiro Nambu, da Universidade de Chicago, e Tetsuo Goto, da Universidade de Nihon, identificaram a característica chave que faz o modelo funcionar - uma corda que vibra. (Este trabalho também foi desenvolvido por Leonard Susskind e Holger Nielsen.) Quando uma corda colidia com outra corda, criava uma matriz S descrita pelo modelo de Veneziano. Neste quadro, cada partícula mais não é mais do que uma vibração ou uma nota de uma corda.

(Analisarei posteriormente este conceito em pormenor.)

O progresso foi muito rápido. Em 1971, John Schwarz, André Neveu e Pierre Ramond generalizaram o modelo de cordas de modo a incluir uma nova quantidade chamada spin, tomando-o um candidato sério a descrever as interacções entre partículas. (Todas as partículas subatómicas, como veremos, parecem girar como um pião em miniatura. A rotação de cada partícula subatómica, em unidades quânticas, medese por um inteiro como 0, 1, 2 ou por um meio inteiro como 1/2, 3/2. Curiosamente, a corda de Neveu-Schwarz-Ramond conduziu precisamente a este padrão de spins).

Contudo, eu ainda estava bastante insatisfeito. O modelo de ressonância dual, como era até então chamado, tratava-se de uma colecção livre de fórmulas estranhas e de regras práticas de aproximação. Toda a Física dos últimos cento e cinquenta anos tinha-se baseado em «campos», desde que estes foram introduzidos pelo físico

britânico Michael Faraday. Pensemos nas linhas de força dos campos magnéticos criadas por uma barra magnética. Como uma teia de aranha, as linhas de força permeiam todo o espaço. Em todos os pontos do espaço, é possível medir a intensidade e a direcção das linhas de força magnéticas. De modo semelhante, um campo é um objecto matemático que tira valores diferentes em cada ponto do espaço. Assim, o campo mede a intensidade da força magnética, da força eléctrica e da força nuclear em qualquer ponto do Universo. Devido a isto, a descrição fundamental da electricidade, do magnetismo, da força nuclear a da gravidade baseia-se em campos. Porque não aconteceria o mesmo com as cordas? Tomava-se necessária uma «teoria do campo de cordas» que permitisse resumir todo o conteúdo da teoria numa única equação.

Em 1974, decidi atacar este problema. Com o meu colega Keiji Kikkawa, da Universidade de Osaka, formulei com êxito a teoria do campo das cordas. Numa equação que nem sequer tinha seis

centímetros de comprimento, podíamos resumir toda a informação contida numa teoria de cordas.[7] Uma vez formulada a teoria do campo de cordas, tive de convencer a comunidade dos físicos do seu poder e beleza. Participei numa conferência de física teórica no Aspen Center no Colorado, nesse Verão, e fiz um seminário para um grupo seleccionado de físicos. Estava muito nervoso: na audiência estavam dois cientistas galardoados com o Nobel, Murray Gell-Mann e Richard Feynman, que eram conhecidos por fazerem perguntas inteligentes e penetrantes que, muitas vezes, deixavam o conferencista embaraçado. (Uma vez, quando fazia uma comunicação, Steven Weinberg desenhou no quadro um ângulo assinalado pela letra W, que, em sua honra, se chama ângulo de Weinberg. Feynman perguntou o que representava o W. Quando Weinberg começou a responder, Feynman gritou: «Errado!» (W, inicial de Weinberg, é também a letra inicial de "wrong" - errado!), o que surpreendeu a audiência. Feynman pode ter

divertido a audiência, mas Weinberg foi o último a rir. Este ângulo representava uma parte crucial da teoria de Weinberg que unificava as interacções electromagnética e fraca, e que acabou por lhe valer o prémio Nobel).

Na minha comunicação, salientei que a teoria do campo de cordas oferecia a abordagem mais simples e mais compreensível da teoria de cordas, que era, em grande parte, um conjunto heterogéneo de fórmulas desconexas. Com a teoria do campo de cordas, toda a teoria podia ser resumida numa única equação com cerca de quatro centímetros de comprimento -todas as propriedades do modelo de Veneziano, todos os termos da aproximação da perturbação infinita e todas as propriedades das cordas em rotação podiam ser derivadas de uma equação que caberia num pequeno pedaço de papel. Salientei a beleza e o poder das simetrias da teoria de cordas. Quando as cordas se movem no espaçotempo, varrem superficies bidimensionais com a configuração de uma faixa. A teoria permanece a

mesma, independentemente das coordenadas que usarmos para descrever esta superfície bidimensional. Nunca esquecerei que, mais tarde, Feynman veio ter comigo e disse-me: «Talvez não concorde inteiramente com a teoria de cordas, mas a sua comunicação foi uma das mais belas que já ouvi.»

DEZ DIMENSÕES

Mas a teoria de cordas, logo que ganhou popularidade, também se esclareceu rapidamente. Claude Lovelace de Rutgers descobriu que o modelo original de Veneziano tinha uma pequena imperfeição matemática que apenas podia ser eliminada se o espaço-tempo tivesse vinte e seis dimensões. De modo análogo, o modelo de supercordas de Neveu, Schwarz e Ramond apenas podia existir em dez dimensões[8], o que chocou os físicos, porque era uma coisa nunca vista em toda a história da ciência. Em mais nenhuma parte encontramos uma teoria que seleccione a sua própria dimensionalidade. As teorias de Newton e de

Einstein, por exemplo, podiam ser formuladas em qualquer dimensão. A famosa lei da gravitação do inverso do quadrado, por exemplo, pode ser generalizada a uma lei do inverso do cubo em quatro dimensões. No entanto, a teoria de cordas apenas podia existir em determinadas dimensões.

De um ponto de vista prático, isto era desastroso. O nosso mundo, segundo a crença geral, existia em três dimensões de espaço (comprimento, largura e altura) e uma de tempo. Admitir um Universo de dez dimensões significava que a teoria raiava a ficção científica. Os teóricos das cordas tomaram-se alvo de piadas. (John Schwarz lembra-se de subir no elevador com Richard Feynman, que, a brincar, lhe disse: «Bem, John, e em quantas dimensões acredita hoje?»[9]) Independentemente do modo como os físicos das cordas tentaram recuperar o modelo, ele depressa morreu. Apenas os mais teimosos continuaram a trabalhar nesta teoria. Foi um período de esforços solitários.

Dois dos teimosos que continuaram a trabalhar na teoria durante estes tristes anos foram John Schwarz, do Cal Tech, e Jöel Scherk, da École Normale Superieure de Paris. Até então, supunha-se que o modelo de cordas descrevia apenas as interacções nucleares fortes. Mas havia um problema: o modelo previa uma partícula que não aparecia nas interacções fortes, uma partícula curiosa com massa zero, que possuía duas unidades quânticas de spin. Todas as tentativas para nos livrarmos desta incómoda partícula tinham falhado. Cada vez que alguém tentava eliminar esta partícula de spin dois, o modelo colapsava e perdia as suas propriedades mágicas. De algum modo, esta indesejável partícula de spin dois parecia encerrar o segredo do modelo.

Então, Scherk e Schwarz fizeram uma conjectura arrojada. Talvez a imperfeição fosse, de facto, uma bênção. Se reinterpretassem esta importuna partícula de spin dois como o gravitão (uma partícula de gravidade proveniente da teoria de Einstein), então a teoria incorporava, na

realidade, a teoria da gravidade de Einstein! (Por outras palavras, a teoria da relatividade geral de Einstein emerge simplesmente como a vibração ou nota mais baixa das supercordas.) Ironicamente, enquanto nas outras teorias quânticas os físicos tentavam a todo o custo evitar incluir qualquer referência à gravidade, a teoria de cordas exige-a. (Isto, na realidade, é uma das características atraentes da teoria de cordas - tem de incluir a gravidade, sob pena de a teoria ser incoerente.) Com esta terrível falta, os cientistas compreenderam que o modelo das cordas estava a ser incorrectamente aplicado ao problema errado. Não queria dizer que fosse apenas uma teoria de interacções nucleares fortes; era, pelo contrário, uma teoria de tudo. Como Witten salientou, uma característica atraente da teoria de cordas é o facto de ela exigir a presença da gravidade. Embora as teorias padrão do campo, durante décadas, não tenham conseguido incorporar a gravidade, a gravidade é, de facto, obrigatória na teoria de cordas.

A ideia seminal de Scherk e Schwarz, contudo, foi universalmente ignorada. O facto de a teoria de cordas descrever simultaneamente a gravidade e o mundo subatómico significava que as cordas tinham de ter apenas 10^{-33} cm de comprimento (o comprimento de Planck); por outras palavras, eram extraordinariamente mais pequenas do que um protão. Os físicos não podiam aceitar uma coisa destas.

Em meados da década de 1980, falharam outras tentativas de uma teoria do campo unificado. As teorias que, ingenuamente, tentavam ligar a gravidade ao modelo padrão estavam a mergulhar num pântano de infinitos (que explicarei resumidamente). Sempre que alguém tentava combinar artificialmente a gravidade com outras forças quânticas, caía em incoerências matemáticas que matavam a teoria. (Einstein acreditava que talvez Deus não tivesse tido escolha quando criou o Universo. Uma das razões talvez fosse o facto de haver apenas uma única teoria sem todas essas incoerências matemáticas.)

Havia duas espécies de incoerências matemáticas. A primeira era o problema dos infinitos. Geralmente, as flutuações quânticas são minúsculas. Os efeitos quânticos são geralmente apenas uma pequena correcção às leis do movimento de Newton. É por isso que podemos, na maior parte dos casos, ignorá-los no nosso mundo macroscópico - eles são pequenos demais para serem notados. Contudo, quando a gravidade se transforma numa teoria quântica, estas flutuações quânticas tomamse realmente infinitas, o que é um disparate. A segunda incoerência matemática está relacionada com «anomalias», pequenas aberrações na teoria, que surgem quando lhe acrescentamos flutuações quânticas. Estas anomalias destroem a simetria original da teoria, tirando-lhe também o seu poder original.

Por exemplo, suponhamos que um projectista de foguetões tem de criar um veículo aerodinâmico que corte a atmosfera. O foguetão tem de ter grande simetria para reduzir a fricção e impedir que ele seja arrastado pelo ar (neste caso,

tem de ter simetria cilíndrica e, por isso, o foguetão permanece o mesmo, quando o fazemos girar em tomo do seu eixo). Esta simetria chama-se O(2). Mas há dois problemas potenciais. Primeiro, como o foguetão viaja a uma velocidade muito grande, podem ocorrer vibrações nas asas. Geralmente, estas vibrações são muito pequenas nos aeroplanos subsónicos. No entanto, a velocidades hipersónicas, a intensidade destas flutuações pode aumentar e acabar por quebrar as asas. Qualquer teoria quântica da gravidade está sujeita a divergências desta natureza.[10] Normalmente, são tão pequenas que podem ser ignoradas, mas numa teoria quântica não podem ser menosprezadas.

O segundo problema do foguetão é que pode abrir pequenas fendas no casco. Estas imperfeições destroem a simetria original O(2) do foguetão. Por mais pequenas que sejam, estas imperfeições acabam por se espalhar e quebrar o casco. De modo semelhante, essas «fendas»

podem destruir as simetrias de uma teoria da gravidade.

Há duas maneiras de resolver estes problemas. Um é encontrar soluções temporárias, como remendar as fendas com cola e prender as asas com alavancas, esperando que o foguetão não expluda na atmosfera. Esta é a metodologia historicamente seguida pela maior parte dos físicos quando tentam combinar a teoria quântica com a gravidade. Fizeram de conta que estes dois problemas não existiam. A segunda maneira de proceder é recomeçar de novo, com uma nova forma e materiais novos e exóticos que possam resistir ao esforço das viagens espaciais.

Os físicos passaram décadas a tentar engendrar uma teoria quântica da gravidade, e, com desespero, acabaram por descobrir que estava crivada de novas divergências e anomalias. Gradualmente, compreenderam que a solução talvez consistisse em abandonar o método das soluções temporárias e adaptar uma teoria completamente nova.[11]

POPULARIDADE DAS CORDAS

Em 1984, os ventos contra a teoria de cordas mudaram subitamente. John Schwarz do Cal Tech e Mike Green do Queen 's College, em Londres, mostraram que a teoria de cordas era desprovida de todas as incoerências que tinham destruído tantas outras teorias. Os físicos já sabiam que a teoria de cordas estava livre de divergências matemáticas. Mas Schwarz e Green mostraram que também estava livre de anomalias. Consequentemente, a teoria de cordas tomou-se no principal (e ainda hoje único) candidato a uma teoria de tudo.

Subitamente, uma teoria que tinha sido considerada morta, na sua essência, tinha ressuscitado. De uma teoria de nada, a teoria de cordas transformou-se subitamente numa teoria de tudo. Muitos físicos tentaram desesperadamente ler os artigos sobre a teoria de cordas. Uma avalancha de artigos começou a chover dos laboratórios de todo o mundo. Os velhos artigos que estavam a ganhar pó nas bibliotecas transformaram-se

subitamente nos tópicos mais controversos da Física. A ideia de universos paralelos, outrora considerada demasiado bizarra para ser verdadeira, transformou-se agora no palco central da comunidade da Física; centenas de conferências e dezenas de milhares de artigos foram dedicados ao assunto.

(Por vezes, as coisas ficavam fora de controlo, quando alguns físicos apanharam a «febre do Nobel». Em Agosto de 1991, a revista Discover exibia na capa o título sensacional «The New Theory of Everything: A Physicist Tackles the Ultimate Cosmic Riddle». O artigo citava um físico que, a todo o custo, procurava fama e glória: «Não pretendo ser modesto. Se isto der resultado, deve merecer um Prémio Nobel»[12], alardeava. Quando confrontado com as críticas de que a teoria de cordas estava ainda na sua infância, ele sorria desdenhosamente e dizia: «Os maiores críticos das cordas dizem que serão necessários quatrocentos anos para provar a teoria

de cordas, mas eu digo que eles devem estar calados.»)

A corrida ao ouro tinha começado.

Finalmente, houve uma reacção contra a «popularidade das cordas». Um físico de Harvard escarneceu da teoria de cordas dizendo que esta teoria não era um ramo da Física, mas sim um ramo da Matemática pura ou da Filosofia, senão mesmo da Religião. Sheldon Glashow de Harvard, galardoado com o Nobel, encabeçou as críticas comparando a popularidade das supercordas com o programa Star Wars (que consumira vastos recursos, embora nunca pudesse ser testado). Glashow disse que estava, de facto, muito feliz por tantos jovens físicos trabalharem na teoria de cordas, porque, dizia ele, assim o deixavam em paz. Quando interrogado sobre o comentário de Witten, segundo o qual a teoria de cordas poderia dominar a Física nos próximos cinquenta anos, do mesmo modo que a mecânica quântica dominou os últimos cinquenta anos, respondeu que a teoria de cordas dominaria a Física da mesma

maneira que a teoria de Kaluza-Klein (que ele considerava «bizarra») dominou a Física durante os últimos cinquenta anos, o que não é nada. Tentou afastar de Harvard os teóricos das cordas. Mas, à medida que a geração seguinte de físicos se começou a interessar por essa teoria, até mesmo a voz solitária de um laureado com o Nobel logo foi silenciada. (Harvard deu guarida desde então a vários jovens teóricos de cordas).

MÚSICA CÓSMICA

Einstein disse uma vez que se uma teoria não oferecesse uma arquitectura física apreensível mesmo para uma criança, muito provavelmente seria inútil. Felizmente, por trás da teoria de cordas há uma arquitectura fisic simples, que se baseia na música.

De acordo com a teoria de cordas, se tivermos um supermicroscópio e pudermos sondar o centro de um electrão, não veremos uma partícula pontual, mas uma corda que vibra. (A corda é extremamente fina, tem o comprimento de Planck de 1o-33 cm, é muitas vezes menor do que um

protão, pelo que todas as partículas subatómicas parecem semelhantes a um ponto.) Se quiséssemos tocar esta corda, a vibração alterar-se-ia; o electrão podia transformar-se num neutrino. Se a tocássemos de novo, poderia transformar-se num quark. De facto, se a fizéssemos vibrar com força suficiente, podia transformar-se em qualquer das partículas subatómicas conhecidas. Desta maneira, a teoria de cordas pode explicar facilmente a existência de tantas partículas subatómicas. São apenas «notas» diferentes que podem ser tocadas numa supercorda. Estabelecendo uma analogia, numa corda de violino as notas lá, si ou dó agudas não são fundamentais. Se fizermos vibrar a corda de várias maneiras diferentes, podemos gerar todas as notas da escala musical. Si bemol, por exemplo, não é mais fundamental do que Sol. Todas elas não são senão notas de uma corda de violino. Do mesmo modo, os electrões e os quarks não são fundamentais, mas a corda é. De facto, todas as subpartículas do Universo podem ser vistas simplesmente como diferentes

vibrações da corda. As «harmonias» da corda são as leis da física.

As cordas podem interagir separando-se e juntando-se, criando, assim, as interacções entre electrões e protões nos átomos. Deste modo, por meio da teoria de cordas, podemos reproduzir todas as leis da física atómica e nuclear. As «melodias» que podem ser escritas nas cordas correspondem às leis da química. O Universo pode agora ser visto como uma vasta sinfonia de cordas.

A teoria de cordas não explica apenas as partículas da teoria quântica como as notas musicais do Universo; também explica a teoria da relatividade - a mais pequena vibração da corda, uma partícula de spin dois com massa zero, pode ser interpretada como o gravitão, uma partícula ou quantum de gravidade. Se calcularmos as interacções com estes gravitões, encontramos precisamente a velha teoria da gravitação de Einstein na forma quântica. Quando a corda se move, se quebra e ganha nova forma, coloca

enormes restrições no espaço-tempo. Quando analisamos estes constrangimentos, voltamos a encontrar a velha teoria da relatividade geral de Einstein. Assim, a teoria de cordas explica claramente a teoria de Einstein, sem ser preciso mais nada. Edward Witten disse que, se Einstein nunca tivesse descoberto a relatividade, esta teoria talvez fosse descoberta como um subproduto da teoria de cordas. A relatividade geral e, em certo sentido, gratuita.

A beleza da teoria de cordas está no facto de poder ser relacionada com a música. A música oferece a metáfora através da qual podemos compreender a natureza do Universo, quer ao nível subatómico como ao nível cósmico. Como o célebre violinista Yehudi Menuhin escreveu: «A música cria ordem a partir do caos; o ritmo impõe unanimidade ao que é divergente; a melodia impõe continuidade ao que é descontínuo; e a harmonia impõe compatibilidade ao que é incongruente.»[13]

Einstein escreveria que a sua investigação de uma teoria do campo unificado acabaria por lhe permitir «ler a mente de Deus». Se a teoria de cordas for correcta, veremos que a mente de Deus representa a música cósmica que ressoa através do hiperespaço de dez dimensões. Como Gottfried Leibniz disse: «A música é um exercício de Aritmética escondido de uma alma inconsciente que está a fazer cálculos.»[14]

Historicamente, a relação entre música e ciência remonta ao século V a. C., quando OS pitagóricos gregos descobriram as leis da harmonia e as reduziram à Matemática. Descobriram que o tom de uma corda de lira se relacionava com o seu comprimento. Se dobrássemos o comprimento de uma corda, a nota desceria uma oitava completa. Se o comprimento de uma corda fosse reduzido para um terço, então o tom mudava um quinto. Por conseguinte, as leis da música e da harmonia podiam ser reduzidas a relações precisas entre números. Não nos surpreende que o mote dos pitagóricos fosse:

«Todas as coisas são números». Originariamente, estavam tão satisfeitos com este resultado que se atreveram a aplicar estas leis da harmonia a todo o Universo. O seu esforço falhou devido à enorme complexidade da matéria. Contudo, em certo sentido, com a teoria de cordas, os físicos regressaram ao sonho pitagórico.

Comentando esta relação histórica, Jamie James disse: «A música e a ciência [outrora] identificavam-se tão profundamente que quem sugerisse que havia alguma diferença essencial entre elas seria considerado um «ignorante»[15], [mas agora] quem propuser que têm alguma coisa em comum corre o risco de ser rotulado de filisteu por uns e de diletante por outros -e, o pior de tudo, de ser considerado um populista por todos.

PROBLEMAS NO HIPERESPAÇO

Mas se, de facto, existem dimensões superiores na natureza e não só na Matemática pura, então os teóricos das cordas têm de enfrentar o

mesmo problema que atormentou Theodor Kaluza e Felix Klein em 1921, quando formularam a primeira teoria de dimensões superiores: onde estão essas dimensões superiores?

Kaluza, um matemático até então desconhecido, escreveu uma carta a Einstein, propondo-lhe a formulação das suas equações em cinco dimensões (uma dimensão de tempo e quatro de espaço). Matematicamente, isto não constituía problema nenhum, visto que as equações de Einstein podem ser escritas trivialmente num espaço com uma dimensão qualquer. Mas a carta continha uma observação surpreendente: se separássemos à mão as peças quadridimensionais contidas nas equações de cinco dimensões, descobriríamos automaticamente, quase por magia, a teoria da luz de Maxwell! Por outras palavras, basta adicionar a quinta dimensão para unificar a teoria de Maxwell da força electromagnética com as equações da gravidade de Einstein. Embora não possamos ver a quinta dimensão, nela podem formar-se ondulações, que

correspondem a ondas de luz! Este é um resultado feliz, uma vez que gerações de físicos e de engenheiros tiveram de memorizar as difíceis equações de Maxwell durante os últimos 150 anos. Agora, estas equações complexas emergem facilmente como as vibrações mais simples que podemos encontrar na quinta dimensão.

Imagine um peixe que nada num lago pouco profundo por baixo de folhas de nenúfares, pensando que o seu «Universo» é apenas bidimensional. O nosso mundo tridimensional pode estar para além do seu alcance visual. Mas há uma maneira através da qual os peixes podem detectar a presença da terceira dimensão. Se chover, podem ver claramente a sombra das ondas que se propagam na superficie da água. De modo semelhante, nós não podemos ver a quinta dimensão, mas as ondulações na quinta dimensão aparecem-nos sob a forma de luz.

(A teoria de Kaluza era uma revelação bela e profunda referente do poder da simetria. Mostrou-se mais tarde que, se acrescentássemos

ainda mais dimensões à velha teoria de Einstein e as fizéssemos vibrar, as vibrações em dimensões superiores reproduziriam os bosões W e Z e os gluões que se encontram nas forças nucleares forte e fraca! Se o programa defendido por Kaluza estivesse correcto, então o Universo era aparentemente muito mais simples do que se pensava. Bastava a vibração de dimensões cada vez mais elevadas para reproduzir as forças que governam o mundo.)

Embora Einstein tivesse ficado chocado, este resultado era demasiado bom para ser verdadeiro. Ao longo dos anos, foram detectados problemas que tornaram inúteis as ideias de Kaluza. Primeiro, a teoria estava crivada de divergências e de anomalias, o que é típico das teorias de gravidade quântica. Segundo, havia a questão física muito mais perturbadora: porque não vemos a quinta dimensão? Quando atiramos setas para o céu, não as vemos desaparecer noutra dimensão. Veja-se o fumo, que penetra lentamente no espaço. Como nunca se vê o fumo

desaparecer numa dimensão superior, os físicos compreenderam que as dimensões superiores, se é que existem, têm de ser menores do que um átomo. No século passado, os místicos e os matemáticos alimentaram a ideia de dimensões superiores, mas os físicos ridicularizaram esta ideia, visto que ninguém tinha visto objectos que desaparecessem numa dimensão superior.

Para salvar a teoria, os físicos tiveram de propor que estas dimensões superiores eram tão pequenas que não podiam ser observadas na natureza. Como o nosso mundo é quadridimensional, conclui-se que a quinta dimensão tinha de estar enrolada num minúsculo círculo mais pequeno do que um átomo, demasiado pequeno para ser observado experimentalmente.

A teoria de cordas tem de se confrontar com este mesmo problema. Temos de enrolar estas dimensões superiores indesejáveis numa pequena bola (processo a que se dá o nome de compactificação). De acordo com a teoria de cordas, o

Universo tinha originariamente dez dimensões, e todas as forças eram unificadas pelas cordas. Contudo, o hiperespaço de dez dimensões era instável e seis das dez dimensões começaram a enrolar-se numa pequena bola, deixando as outras quatro dimensões expandirem-se para fora num big bang. A razão pela qual não podemos ver as outras dimensões é que elas são muito menores do que um átomo e, assim, nada podem conter no seu interior. (Por exemplo, uma mangueira e uma palha, à distância, parecem ser objectos unidimensionais definidos pelo seu comprimento. Mas, se os examinarmos de perto, verificamos que, na realidade, são superficies bidimensionais ou cilindros, mas a segunda dimensão está enrolada, pelo que não se pode ver).

PORQUÊ CORDAS?

Embora as tentativas anteriores para formular uma teoria do campo unificado tenham falhado, a teoria de cordas sobreviveu a todos os desafios. De facto, não tem rival. Há duas razões pelas

quais a teoria de cordas foi bem sucedida, quando muitas outras teorias falharam.

Primeiro, sendo uma teoria baseada num objecto extenso (a corda), evita muitas das divergências associadas às partículas pontuais. Como Newton observou, a força gravitacional que rodeia uma partícula pontual toma-se infinita à medida que nos aproximamos dela. (Na famosa lei do inverso do quadrado devida a Newton, a força da gravidade cresce com $1/r^2$, pelo que é infinita quando nos aproximamos da partícula pontual -isto é, quando r tende para zero, a força gravitacional é 1/0, que é infinito.)

Mesmo numa teoria quântica, a força tende para infinito à medida que nos aproximamos de uma partícula quântica pontual. Ao longo das décadas, foi inventada por Feynman e por muitos outros uma série de regras enigmáticas para eliminar estas e muitas outras divergências. Mas para uma teoria quântica da gravidade, nem o conjunto de truques imaginados por Feynman é suficiente para remover todas as dificuldades da

teoria. O problema é que as partículas pontuais são infinitamente pequenas, o que significa que as suas forças e energias são potencialmente infinitas.

Mas, quando analisamos cuidadosamente a teoria de cordas, encontramos dois mecanismos que podem eliminar estas divergências. O primeiro é devido à topologia das cordas; o segundo que se chama supersimetria, é devido à sua simetria.

A topologia da teoria de cordas é completamente diferente da topologia das partículas pontuais e, por isso, as divergências são muito diferentes. (De um modo geral, o facto de a corda ter um comprimento finito significa que as forças não atingem o infinito quando nos aproximamos da corda. Perto da corda, as forças apenas crescem com $1/L^2$, onde L é o comprimento da corda que é da ordem do comprimento de Planck de 10^{-33} cm. Este comprimento L actua para eliminar as divergências.) Como uma corda não é uma partícula pontual, mas tem um tamanho

definido, é possível mostrar que as divergências são «espalhadas» ao longo da corda e, por isso, todas as quantidades físicas se tomam finitas.

Embora pareça intuitivamente óbvio que as divergências da teoria de cordas se espalham e, por isso, são finitas, a expressão matemática precisa deste facto é muito dificil sendo dada pela «função modular elíptica», uma das mais estranhas funções da matemática, com uma história tão fascinante que desempenhou um papel chave num filme de Hollywood. O Bom Rebelde é a história de um rapaz brigão dos subúrbios de Cambridge, Matt Damon, dotado de espantosas capacidades matemáticas. Quando não anda em lutas com os brigões das vizinhanças, trabalha como porteiro no MIT. Os professores do MIT ficaram surpreendidos quando descobriram que este brigão de rua é, na realidade, um génio em Matemática, capaz de resolver problemas matemáticos aparentemente irresolúveis. Verificando que este rapaz aprendeu Matemática

avançada à sua própria custa, um deles atreve-se a dizer que ele é o «próximo Ramanujan».

De facto, O Bom Rebelde baseia-se vagamente na vida de Srinivasa Ramanujan, o maior génio matemático do século, um homem que cresceu na pobreza e no isolamento perto de Madras, na Índia, na viragem do século XIX. Vivendo isolado, teve de aprender a maior parte da Matemática europeia do século XIX à sua própria custa. A sua carreira foi como uma supernova, que iluminou por pouco tempo os céus com o seu brilho matemático. Morreu tragicamente de tuberculose em 1920, aos trinta e sete anos. Como Matt Damon em O Bom Rebelde, sonhava com equações matemáticas, neste caso com a função modular elíptica, que tem propriedades matemáticas estranhas embora belas, mas apenas em vinte e quatro dimensões. Os matemáticos ainda estão a tentar decifrar as «notas perdidas de Ramanujan» encontradas depois da sua morte. Olhando para o trabalho de Ramanujan, verificamos que ele pode ser

generalizado em oito dimensões, o que é directamente aplicável à teoria de cordas. Os físicos acrescentam mais duas dimensões para construir uma teoria física. (Por exemplo, os óculos de sol polarizados usam o facto de a luz ter duas polarizações físicas; pode vibrar da esquerda para a direita e de cima para baixo. Mas a formulação matemática da luz nas equações de Maxwell é dada com quatro componentes. Duas destas quatro vibrações são, na realidade, redundantes). Quando acrescentamos mais duas dimensões às funções de Ramanujan, os «números mágicos» da matemática são dez e vinte e seis, precisamente os «números mágicos» da teoria de cordas. Assim, em certo sentido, Ramanuj an estava a trabalhar na teoria de cordas antes da Primeira Guerra Mundial!

As propriedades fabulosas destas funções modulares elípticas explicam por que razão a teoria tem de existir em dez dimensões. Só nesse número preciso de dimensões desaparece, como que por magia, a maior parte das divergências

que contaminam as outras teorias. Mas a topologia das cordas, por si própria, não é suficientemente poderosa para eliminar todas as divergências. As divergências restantes da teoria são removidas por uma segunda característica da teoria de cordas, a sua simetria.

SUPERSIMETRIA

A corda possui algumas das maiores simetrias conhecidas da ciência. No capítulo 4, quando se analisou a inflação e o modelo padrão, verificámos que a simetria nos dá um esquema perfeito da disposição das partículas subatómicas em padrões elegantes e agradáveis. Os três tipos de quarks podem ser dispostos de acordo com a simetria SU(3), que permuta três quarks entre si. Crê-se que na GUT, os cinco tipos de quarks e leptões podem ser dispostos de acordo com a simetria SU(5).

Na teoria de cordas, estas simetrias anulam as divergências e as anomalias remanescentes da teoria. Uma vez que as simetrias são dos mais belos e poderosos instrumentos de que dispomos,

podemos esperar que a teoria do Universo deva possuir a simetria mais elegante e poderosa que a ciência conhece. A escolha lógica é uma simetria que permuta não só os quarks mas todas as partículas da natureza -isto é, as equações continuam a ser as mesmas, ainda que rearranjemos todas as partículas subatómicas entre si. Isto descreve de uma forma precisa a simetria das supercordas, chamada supersimetria[16]. É a única simetria que permuta todas as partículas subatómicas conhecidas da Física, o que faz dela a candidata ideal da simetria que dispõe todas as partículas do Universo num todo elegante e unificado.

Se examinarmos as forças e partículas do Universo, todas elas cabem em duas categorias: «fermiões» e «bosões», de acordo com o seu spin. Actuam como pequenos piões giratórios que podem rodar a diferentes taxas. Por exemplo, o fotão, uma partícula de luz que medeia a força electromagnética, tem spin 1. As forças nucleares fraca e forte são mediadas pelos bosões W e

pelos gluões, que também, têm spin 1. O gravitão, uma partícula da gravidade, tem spin 2. Todas as partículas que têm spin inteiro chamam-se bosões. De modo semelhante, as partículas de matéria são descritas pelas partículas subatómicas com spin semi-inteiro – 1/2, 3/3, 512, etc. (As partículas com spins meio inteiros chamam-se fermiões incluem o electrão, o neutrino e os quarks.) Assim, a supersimetria representa elegantemente a dualidade entre bosões e fermiões, entre forças e matéria.

Numa teoria supersimétrica, todas as partículas subatómicas têm uma parceira: cada fermião está emparelhado com um bosão. Embora estas parceiras supersimétricas nunca tenham sido observadas na natureza, os físicos chamaram à parceira do electrão o «selectrão», com spin 0. (Os físicos costumam acrescentar um «S» para descrever a superparceira de uma partícula.) As interacções fracas incluem partículas chamadas leptões; as suas superparceiras chamam-se sleptões. De modo análogo, o quark pode ter uma

parceira com spin 0, chamada squark. Em geral, as parceiras das partículas conhecidas (os quarks, os leptões, os gravitões, os fotões, etc.) chamam-se spartículas ou superpartículas. Estas spartículas têm ainda de ser encontradas nos nossos esmagadores de átomos (provavelmente por as nossas máquinas não serem suficientemente poderosas para as criar).

Mas, uma vez que todas as partículas subatómicas são fermiões ou bosões, uma teoria supersimétrica tem a capacidade de unificar todas as partículas subatómicas conhecidas numa única simetria. Agora temos uma simetria suficientemente vasta para incluir todo o Universo.

Consideremos um floco de neve. Suponhamos que cada uma das seis pontas do floco de neve representa uma partícula subatómica, e as outras pontas representam um bosão seguido de um fermião. A beleza deste «superfloco de neve» é que, quando o fazemos girar, ele permanece o mesmo. Deste modo, o superfloco de neve unifica todas as partículas e as suas spartículas.

Assim, se tentássemos construir uma teoria do campo unificado hipotético com seis partículas, um candidato natural seria o superfloco de neve.

A supersimetria ajuda a eliminar os infinitos remanescentes que são fatais a outras teorias. Já referimos que a maior parte das divergências são eliminadas devido à topologia da corda - isto é, como a corda tem um comprimento finito, as forças não atingem o infinito quando nos aproximamos dela. Quando examinamos as restantes divergências, verificamos que são de dois tipos, provenientes das interacções de bosões e de fermiões. No entanto, estes dois contributos ocorrem sempre com sinais opostos, uma vez que o contributo do bosão anula completamente o contributo do fermião! Por outras palavras, uma vez que os contributos do fermião e do bosão têm sempre sinais opostos, as infinidades remanescentes da teoria anulam-se umas às outras. Assim, a supersimetria é mais do que uma simples fachada; é algo esteticamente agradável não só porque unifica todas as forças da natureza,

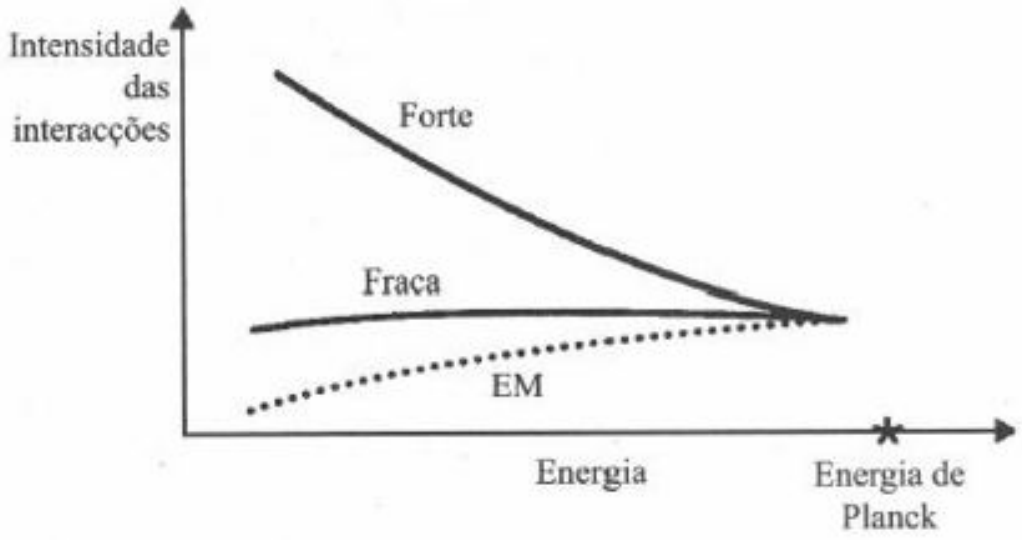
mas também porque é essencial para anular as divergências da teoria de cordas.

Recorde a analogia da concepção de um foguetão aerodinâmico. As vibrações nas asas podem aumentar e acabar por despedaçá-las. Uma solução consiste em explorar o poder da simetria, conceber as asas de modo a que as vibrações numa asa anulem as vibrações na outra. Quando uma asa vibra no sentido dos ponteiros do relógio, a outra asa vibra em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, anulando a primeira vibração. Assim, a simetria do foguetão, longe de ser um simples dispositivo artificial e artístico, é crucial para anular e equilibrar a tensão das asas. De modo análogo, a supersimetria anula as divergências, porque as partes do bosão e do fermião se anulam umas às outras.

(A supersimetria também resolve uma série de problemas altamente técnicos que são realmente fatais à GUT. As incoerências matemáticas intrincadas da GUT precisam da supersimetria para serem eliminadas)[17]

Embora a supersimetria represente uma ideia poderosa, não há hoje absolutamente nenhuma prova experimental que a sustente. Talvez as superparceiras dos electrões e dos protões sejam simplesmente demasiado maciças para serem produzidas nos actuais aceleradores de partículas. No entanto, há razões para acreditar que estamos a caminho da supersimetria. Sabemos agora que as três forças quânticas têm intencidades completamente diferentes. De facto, a baixas energias, a força forte é trinta vezes mais forte do que a força fraca e cem vezes mais poderosa do que a força electromagnética. Contudo, nem sempre foi assim. Suspeitamos que, no instante do big bang, as três forças tinham igual intensidade. Olhando para trás no tempo, os físicos podem calcular qual teria sido a intensidade das três forças no começo do tempo. Analisando o modelo padrão, os físicos descobrem que as três forças parecem convergir em intensidade perto do big bang. Mas não são precisamente iguais. No entanto, quando se acrescenta a supersimetria, as três forças

ajustam-se perfeitamente e têm intensidade igual, exactamente como uma teoria do campo unificado sugeriria. Embora isto não seja uma prova directa da supersimetria, mostra, pelo menos, que a supersimetria é coerente com a Física conhecida.



As forças forte, fraca e electromagnética têm intensidades completamente diferentes no mundo actual. Contudo, às energias encontradas perto do *big bang*, a intensidade destas forças devia convergir perfeitamente. Esta convergência verifica-se, de facto, se tivermos uma teoria supersimétrica. Assim, a supersimetria talvez seja um elemento chave em qualquer teoria de campo unificado.

DEDUZIR O MODELO PADRÃO

Embora as supercordas não tenham parâmetros completamente ajustáveis, a teoria de cordas pode oferecer soluções espantosamente próximas do modelo padrão, com os seus conjuntos

heterogéneos de partículas subatómicas bizarras e dezanove parâmetros livres (como as massas das partículas e a intensidade de acoplamento). Além disso, o modelo padrão tem três cópias idênticas e redundantes de todos os quarks e leptões, o que parece totalmente desnecessário. Felizmente, da teoria de cordas podem derivar-se facilmente muitas das características qualitativas do modelo padrão. É quase como obter uma coisa a partir do nada. Em 1984, Philip Candeias, da Universidade do Texas, Gary Horowitz e Andrew Strominger, da Universidade da Califórnia, em Santa Bárbara, e Edward Witten mostraram que, se enrolássemos seis das dez dimensões da teoria de cordas e ainda preservássemos a supersimetria nas restantes quatro dimensões, o pequeno mundo de seis dimensões podia ser descrito por aquilo a que os matemáticos chamam uma variedade de Calabi-Yau. Fazendo algumas escolhas simples dos espaços de CalabiYau, mostraram que a simetria da corda podia ser quebrada por uma teoria notável próxima do modelo padrão.

Deste modo, a teoria de cordas dá-nos uma resposta simples para explicar a razão pela qual o modelo padrão tem três gerações redundantes. Na teoria de cordas, o número de gerações ou redundâncias no modelo de quarks está relacionado com o número de «buracos» na variedade de Calabi-Yau. (Por exemplo, um donut, uma câmara de ar e uma chávena de café são superfícies com um buraco. As armações dos óculos têm dois buracos. As superficies de Calabi-Yau podem ter um número arbitrário de buracos.) Assim, basta escolher a variedade de Calabi-Yau com um certo número de buracos, para podermos construir um modelo padrão com diferentes gerações de quarks redundantes. (Como nunca vemos o espaço de Calabi-Yau, porque ele é muito pequeno, também nunca vemos que esse espaço tem buracos de donut.) Ao longo dos anos, equipas de físicos tentaram arduamente catalogar todos os espaços Calabi-Yau possíveis, compreendendo que a topologia deste espaço de

seis dimensões determina os quarks e os leptões do nosso Universo quadridimensional.

TEORIA M

A excitação que a teoria de cordas provocou em 1984 não podia durar para sempre. Em meados da década de 1990, a popularidade da teoria de cordas foi diminuindo gradualmente entre os físicos. Os problemas fáceis suscitados pela teoria foram enfrentados, e os problemas dificeis foram postos de lado. Um desses problemas é que estavam a ser descobertos milhares de milhões de soluções das equações das cordas. Compactificando ou encurvando o espaço-tempo de maneiras diferentes, as soluções das cordas podiam ser resolvidas em qualquer dimensão e não apenas em quatro. Cada uma das mil milhões de soluções de cordas correspondia a um Universo matematicamente autocoerente.

Os físicos foram subitamente inundados de soluções de cordas. Curiosamente, muitas delas pareciam muito semelhantes ao nosso Universo. Com uma escolha adequada de um espaço de

Calabi-Yau, era relativamente fácil reproduzir muitas das principais características do modelo padrão, com a sua estranha colecção de quarks e de leptões, com o seu curioso conjunto de cópias redundantes. No entanto, foi extremamente difícil (e ainda hoje constitui um desafio) encontrar precisamente o modelo padrão, com os valores específicos dos seus dezanove parâmetros e três gerações redundantes. (O espantoso número de soluções de cordas foi, de facto, bem recebido pelos físicos que acreditam na ideia do multiverso, uma vez que cada solução representa um Universo paralelo totalmente autocoerente. Mas foi com algum incómodo que os físicos reconheceram a dificuldade de encontrar o nosso próprio Universo nesta selva de universos.)

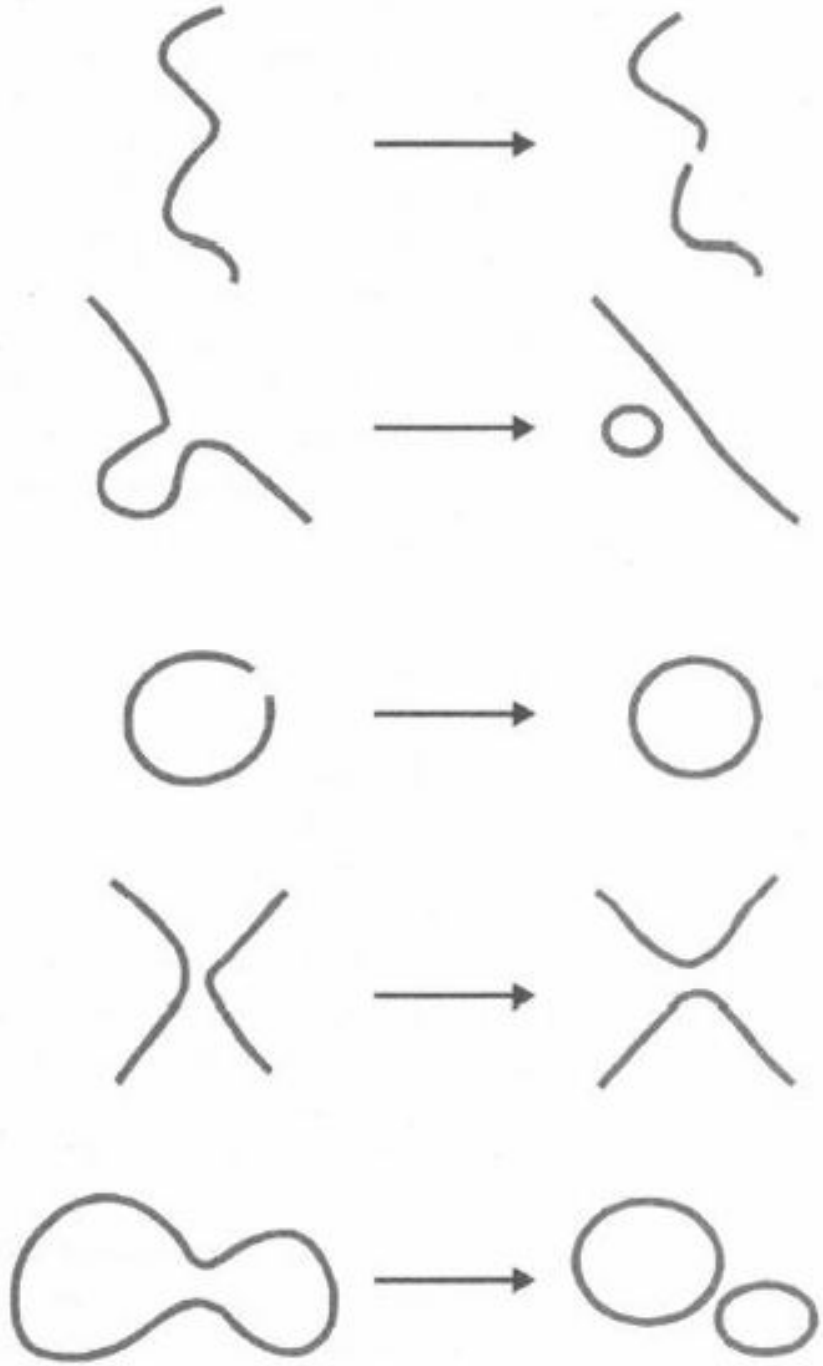
Uma razão desta dificuldade é a necessidade de quebrar a supersimetria, uma vez que não vemos supersimetria no nosso mundo de baixa energia. Na natureza, por exemplo, não vemos o selectrão, a superpartícula do electrão. Se a supersimetria é inquebrável, então a massa de cada

partícula devia ser igual à massa da sua super-partícula. Os físicos acreditam que a supersimetria é quebrada, o que faz com que as massas das superpartículas sejam muito elevadas e estejam fora do alcance dos actuais aceleradores de partículas. Mas até agora ninguém encontrou um mecanismo credível para quebrar a supersimetria.

David Gross, do Kavli Institute for Theoretical Physics, em Santa Bárbara, observou que há milhões e milhões de soluções da teoria de cordas em três dimensões espaciais, o que é um pouco embaraçoso, visto que não há uma boa maneira de as escolher.

Havia outras questões complicadas. Uma das mais incómodas era o facto de haver cinco teorias de cordas autocoerentes. Era difícil imaginar que o Universo pudesse suportar cinco teorias distintas do campo unificado. Einstein acreditava que Deus não tinha tido escolha quando criou o Universo; então, porque é que Deus haveria de criar cinco?

A teoria original baseada na fórmula de Veneziano descreveu-nos aquilo a que se chama a teoria das supercordas do tipo I. A teoria do tipo I baseia-se em cordas abertas (cordas com duas extremidades) e cordas fechadas (cordas circulares). Esta foi a teoria mais intensamente estudada no princípio da década de 1970. (Usando a teoria do campo de cordas, Kikkawa e eu conseguimos catalogar o conjunto completo de interacções das cordas do tipo I. Mostrámos que as cordas do tipo I requerem cinco interacções; mostrámos que, no caso das cordas fechadas, apenas é necessário um termo de interacção).



As cordas do tipo I sofrem cinco interacções possíveis, em que as cordas podem quebrar-se, juntar-se ou sofrer cisão. Para as cordas fechadas apenas é necessária a última interacção (que se assemelha à mitose das células).

Kikkawa e eu mostrámos que é possível construir teorias completamente autocoerentes apenas com cordas fechadas (que parecem um laço). Hoje chamam-se teorias das cordas do tipo II,

onde as cordas interagem comprimindo uma corda circular em duas cordas mais pequenas (que se assemelham à mitose de uma célula.)

A teoria de cordas mais realista é a teoria de cordas heteróticas, formulada pelo grupo de Princeton (que inclui David Gross, Emil Martinec, Ryan Rohm e Jeffrey Harvey). As cordas heteróticas podem acomodar grupos de simetria chamados E(8) x E(8) ou O(32), que são suficientemente grandes para abranger as GUT. A corda heterótica baseiase inteiramente em cordas fechadas. Nas décadas de 1980 e 1990, quando os cientistas se referiam à supercorda referiam-se tacitamente à corda heterótica, que era suficientemente rica para permitir analisar o modelo padrão e as GUT. (O grupo de simetria E(8) x E(8), por exemplo, pode diminuir para E(8), depois para E(6), que, por sua vez, é ainda suficientemente grande para incluir a simetria SU(3) x SU(2) x U(1) do modelo padrão.)

MISTÉRIO DA SUPERGRAVIDADE

Para além das cinco teorias das cordas, havia uma outra questão incómoda que tinha sido esquecida na precipitação de resolver a teoria de cordas. Já em 1976, três físicos, Peter Van Nieuwenhuizen, Sergio Ferrara e Daniel Freedman, que trabalhavam então na State University de Nova Iorque, em Stony Brook, descobriram que a teoria original da gravidade de Einstein se podia tomar supersimétrica com a simples introdução de um novo campo, uma superparceira do campo de gravidade original (chamada gravitino, que significa «pequeno gravitão», com spin 3/2). Esta nova teoria, que se chamou supergravidade, baseava-se em partículas pontuais e não em cordas. Ao contrário das supercordas, com a sua sequência infinita de notas e ressonâncias, a supergravidade tinha apenas duas partículas. Em 1978, Eugene Cremmer, Joel Scherk e Bernard Julia, da École Normale Supérieure, mostraram que a supergravidade mais geral podia ser descrita em onze dimensões. (Se tentarmos descrever a teoria da

supergravidade em doze ou treze dimensões, surgirão incoerências matemáticas.) No fim da década de 1970 e no princípio da década de 1980, pensava-se que a supergravidade poderia ser a fabulosa teoria do campo unificado. A teoria levou Stephen Hawking a dizer que «o fim da física teórica» estava à vista, na sua lição inaugural quando ocupou a cátedra Lucasiana na Universidade de Cambridge, a cátedra que outrora fora de Newton. Mas a supergravidade depressa incorreu nas mesmas dificuldades que tinham matado as teorias anteriores. Embora tivesse menos infinitos do que a teoria do campo comum, na análise final a supergravidade não era finita e estava crivada de anomalias. Como todas as outras teorias do campo (excepto a teoria de cordas) acabou por decepcionar os cientistas.

Outra teoria supersimétrica que pode existir em onze dimensões é a teoria das supermembranas. Embora a corda tenha apenas uma dimensão que define o seu comprimento, a supermembrana pode ter duas ou mais dimensões

porque representa uma superficie. Curiosamente, mostrou-se que dois tipos de membranas (uma 2-brana e uma 5-brana) também são autocoerentes em onze dimensões.

Contudo, as supermembranas também oferecem problemas; é muito dificil trabalhar com elas e as suas teorias quânticas são, na realidade, divergentes. Enquanto as cordas de violino são tão simples que os pitagóricos gregos estabeleceram as suas leis da harmonia há dois mil anos, as membranas são tão dificeis que ainda hoje ninguém tem uma teoria satisfatória da música baseada nelas. Mais ainda, mostrou-se que estas membranas eram instáveis e acabavam por decair em partículas pontuais.

Assim, em meados da década de 1990, os físicos tinham vários mistérios para resolver. Porque havia cinco teorias de cordas em dez dimensões? E porque é que havia duas teorias em onze dimensões, a supergravidade e as supermembranas? Além disso, todas elas tinham supersimetria.

DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

Em 1994, outra granada explodiu. Uma nova descoberta veio mudar todo o cenário. Edward Witten e Paul Townsend, da Universidade de Cambridge, descobriram matematicamente que uma teoria de cordas de dez dimensões era, na realidade, uma aproximação de uma teoria superior e misteriosa de onze dimensões, de origem desconhecida. Witten, por exemplo, mostrou que, se considerássemos uma teoria semelhante a uma membrana em onze dimensões e enrolássemos uma dimensão, ela transformar-se-ia numa teoria de cordas de dez dimensões de tipo IIa!

Pouco depois, descobriu-se que se podia demonstrar que as cinco teorias das cordas eram apenas diferentes aproximações da mesma teoria misteriosa de onze dimensões. Uma vez que membranas de espécies diferentes podem existir em onze dimensões, Witten chamou a esta nova teoria a teoria M. Esta teoria, para além de unificar as cinco diferentes teorias das cordas, também explicava o mistério da supergravidade.

A supergravidade, convém recordar, era uma teoria de onze dimensões que continha apenas duas partículas com massa zero, o gravitão original de Einstein, mais a sua parceira supersimétrica (o gravitino). A teoria M, contudo, tem um número infinito de partículas com massas diferentes (correspondentes a infinitas vibrações que podem ondular numa espécie de membrana de onze dimensões). Mas a teoria M pode explicar a existência da supergravidade, se supusermos que uma pequena porção da teoria M (apenas as partículas sem massa) é a velha teoria da supergravidade. Por outras palavras, a teoria da supergravidade é um pequeno subconjunto da teoria M. De modo semelhante, se tomarmos esta teoria misteriosa de onze dimensões semelhante a membranas e emolarmos uma dimensão, a membrana transforma-se numa corda. Na realidade, transforma-se precisamente numa teoria de cordas de tipo II! Por exemplo, se olharmos para uma esfera em onze dimensões e emolarmos uma dimensão, a esfera colapsa e o seu equador

transforma-se numa corda fechada. Vemos que a teoria de cordas pode ser vista como correspondendo a uma membrana em onze dimensões, se enrolarmos a décima primeira dimensão num pequeno círculo.

Assim, encontramos uma maneira bonita e simples de unificar as físicas de dez e de onze dimensões numa única teoria! Foi uma verdadeira proeza conceptual.

Lembro-me bem do choque provocado por esta descoberta explosiva. Nessa altura, eu estava a fazer uma comunicação na Universidade de Cambridge. Paul Townsend teve a gentileza de me apresentar à audiência. Mas, antes de eu tomar a palavra, ele, com grande excitação, explicou este novo resultado segundo o qual, na décima primeira dimensão, as várias teorias de cordas podem ser unificadas numa única teoria. O título da minha conferência mencionava a décima dimensão. Antes da minha intervenção, ele disse-me que, se viesse a ter êxito, o título da minha conferência tomar-se-ia obsoleto.

Pensei para comigo: «Oh oh!» Ou ele estava completamente louco ou iria haver uma grande revolução na comunidade dos físicos.

Uma corda de dez dimensões pode emergir de uma membrana de onze dimensões removendo ou encurvando uma dimensão. O equador de uma membrana transforma-se numa corda depois de uma dimensão colapsar. Há cinco maneiras de efectuar esta redução, dando origem a cinco teorias diferentes de supercordas em dez dimensões.

Eu não podia acreditar no que estava a ouvir e, por isso, fiz-lhe muitas perguntas. Sublinhei que as supermembranas de onze dimensões, uma teoria que ele ajudou a formular, eram inúteis porque eram matematicamente intratáveis e, pior ainda, instáveis. Ele admitiu que isso constituía um problema, mas estava confiante de que essas questões seriam resolvidas no futuro.

Eu também disse que a supergravidade de onze dimensões não era finita; que ela explodia como todas as outras teorias, excepto a teoria de cordas. Isso já não era um problema, respondeu

ele calmamente, porque a supergravidade não era senão uma aproximação de uma teoria maior, ainda misteriosa, a teoria M, que era finita - era, na realidade a teoria de cordas reformulada na décima primeira dimensão com base em membranas.

Então eu acrescentei que as supermembranas eram inaceitáveis, porque ninguém tinha conseguido explicar como as membranas interagem quando colidem e se voltam a formar (como eu tinha feito na minha tese de doutoramento anos atrás em relação à teoria de cordas). Ele admitiu que isso era um problema, mas estava esperançado que também pudesse ser resolvido.

Finalmente, eu disse que a teoria M não era, na realidade, uma teoria, uma vez que as suas equações básicas não eram conhecidas. Ao contrário da teoria de cordas (que podia ser expressa usando equações simples do campo de cordas que eu descrevi há anos e que englobavam toda a teoria), não havia nenhuma teoria de campo para as membranas. Ele também anuiu neste ponto.

Mas continuou a dizer que as equações da teoria M haveriam de ser encontradas.

A minha mente estava confusa. Se ele tivesse razão, a teoria de cordas iria, mais uma vez, sofrer uma transformação radical. As membranas, que outrora tinham sido relegadas para o caixote do lixo da história da Física, estava subitamente a ressuscitar.

Esta revolução acontece porque a teoria de cordas ainda está a ser desenvolvida reabilitando ideias anteriores. Ainda hoje ninguém conhece os princípios físicos simples que estão subjacentes a toda a teoria. Gosto de visualizar esta situação como a imagem de alguém que caminha no deserto e, acidentalmente, tropeça num pequeno calhau. Quando limpa a areia, verifica que o calhau é, na realidade, o topo de uma pirâmide gigantesca soterrada sob toneladas de areia. Depois de décadas de penosa escavação, encontra misteriosos hieróglifos, câmaras ocultas e túneis. Um dia, chegará ao rés-do-chão e, finalmente, abrirá as portas.

O MUNDO DE BRANAS

Uma das novas características da teoria M é que ela introduz não só cordas, mas toda uma panóplia de membranas de diferentes dimensões. Neste quadro, as partículas pontuais chamam-se «0-branas», porque são infinitamente pequenas e não têm dimensões. Uma corda é então uma «1-brana», porque é um objecto unidimensional definido pelo seu comprimento. Uma membrana é uma «2-brana» como a superficie de uma bola de basquetebol, definida pelo comprimento e pela largura. (Uma bola de basquetebol existe em três dimensões, mas a sua superfície é apenas bidimensional.) O nosso Universo pode ser uma espécie de «3-brana», um objecto tridimensional que tem comprimento, largura e altura. (Como um brincalhão observou, se o espaço tem p dimensões, sendo p um inteiro, então o nosso Universo é p-brana, que em inglês se pronuncia «pea-brane». Um mapa que apresentasse todos estes pea-branes chamar-se-ia «brane scan».)

Há várias maneiras de tomarmos uma membrana e a fazermos colapsar para a transformar numa corda. Em vez de enrolar a décima primeira dimensão, podemos cortar o equador de uma membrana de onze dimensões, criando uma fita circular. Se deixarmos a espessura da fita encolher, a fita transforma-se numa corda de dez dimensões. Petr Horava e Edward Witten mostraram que foi desta maneira que derivámos a corda heterótica.

De facto, pode mostrar-se que há cinco maneiras de reduzir a teoria M de onze dimensões a dez dimensões, obtendo, assim, as cinco teorias das supercordas. A teoria M dá-nos uma resposta rápida e intuitiva ao mistério da existência de cinco teorias de cordas diferentes. Imagine que está de pé numa enorme colina e olha para baixo, para a planície. Da perspectiva da terceira dimensão, podemos ver as diferentes partes da planície unificadas num único quadro coerente. Do mesmo modo, da perspectiva da décima primeira dimensão, olhando para a

décima dimensão podemos ver que a manta de retalhos de cinco teorias de supercordas não é mais do que o conjunto dos diferentes pedaços da décima primeira dimensão.

DUALIDADE

Embora Paul Townsend não possa responder à maior parte das questões que lhe coloquei nessa altura, o que acabou por me convencer da correcção da sua ideia foi o poder de uma nova simetria. A teoria M não tem apenas o maior conjunto de simetrias conhecidas da Física; tem ainda outro truque na manga: a dualidade, que dá à teoria M a estranha capacidade de absorver as cinco teorias das supercordas numa única teoria.

Consideremos a electricidade e o magnetismo, que são governados pelas equações de Maxwell. Observou-se há muito que, se nos limitarmos a trocar o campo eléctrico pelo campo magnético, as equações se mantêm. Esta simetria pode tomar-se exacta, se pudermos acrescentar monopólos (pólos magnéticos isolados) às equações de Maxwell. As equações de Maxwell

mantêm-se mesmo que troquemos o campo eléctrico pelo campo magnético e a carga eléctrica e pelo inverso da carga magnética g. Isto significa que a electricidade (se a carga eléctrica for baixa) equivale exactamente ao magnetismo (se a carga magnética for alta). Esta equivalência chama-se dualidade.

No passado, esta dualidade foi considerada apenas como uma curiosidade científica, um truque doméstico, uma vez que, até hoje, nunca ninguém viu um monopólo. No entanto, os físicos acharam notável que as equações de Maxwell tivessem uma simetria escondida que a natureza aparentemente não usa (pelo menos, no nosso sector do Universo).

De modo análogo, as cinco teorias das cordas são todas duais uma em relação à outra. Consideremos a teoria de cordas do tipo 1 e a heterótica SO(32). Normalmente, estas duas teorias não se assemelham nada. A teoria do tipo 1 baseia-se em cordas abertas e fechadas que podem interagir de cinco maneiras diferentes, conforme se

afastam ou se juntam. A corda SO(32), por outro lado, baseia-se em cordas fechadas que têm uma maneira possível de interagir, sofrendo a mitose tal como uma célula. A corda do tipo 1 é definida inteiramente no espaço de dez dimensões, ao passo que a corda SO(32) é descrita com um conjunto de vibrações definidas no espaço de vinte e seis dimensões.

Normalmente, não podemos encontrar duas teorias aparentemente tão diferentes. Contudo, tal como acontece com o electromagnetismo, as teorias possuem uma poderosa dualidade: se aumentarmos a intensidade das interacções, as cordas do tipo 1 transformam-se em cordas heteróticas SO(32), como que por magia. (Este resultado é tão inesperado que, quando o vi pela primeira vez, abanei a cabeça com estupefacção. Em Física, raramente vemos duas teorias que parecem tão diferentes em todos os aspectos, serem matematicamente equivalentes.)

LISA RANDALL

A maior vantagem da teoria M sobre a teoria de cordas talvez seja que estas dimensões superiores, poderão, na realidade, ser muito grandes e até observáveis no laboratório. Na teoria de cordas, seis das dimensões superiores têm de ser enroladas numa pequena bola, uma variedade de Calabi-Yau, demasiado pequena para ser observada com os instrumentos actuais. Estas seis dimensões foram todas compactificadas, pelo que é impossível entrar numa dimensão maior - o que é um pequeno desapontamento para aqueles que esperariam poder um dia subir num hiperespaço infinito em vez de enveredar por atalhos no hiperespaço compactificado através de buracos de verme.

No entanto, a teoria M também caracteriza as membranas: é possível ver todo o nosso Universo como uma membrana que flutua num Universo muito mais vasto. Em consequência disso, nem todas estas dimensões superiores têm de ser enroladas numa bola. Algumas podem, de facto, ser enormes, de extensão infinita.

Uma fíisica que tentou explorar esta nova representação do Universo é Lisa Randall, de Harvard. Um pouco parecida com a actriz Jodie Foster, Randall parece um tanto deslocada no mundo de uma competição feroz, dominada pela testosterona, de uma profissão essencialmente masculina como é a tisica teórica. Ela persegue a ideia de que, se o Universo é realmente uma 3-brana que flutua no espaço de dimensões superiores, talvez isso explique porque é que a gravidade é muito mais fraca do que as outras três forças.

Randall cresceu em Queens, Nova Iorque (o bairro imortalizado por Archie Bunker). Embora em criança não mostrasse nenhuma inclinação particular pela Física, adorava a Matemática. Conquanto eu creia que todos nós nascemos cientistas, nem toda a gente consegue manter ao longo da vida um amor duradouro pela ciência. Uma das razões é termos de enfrentar a «parede» da Matemática.

Quer gostemos ou não, se quisermos seguir uma carreira científica, teremos de aprender a «linguagem da natureza»: a Matemática. Sem a Matemática, apenas podemos ser observadores passivos da dança da natureza, em vez de participarmos activamente nessa dança. Como Einstein disse: «A Matemática pura é, à sua maneira, a poesia das ideias lógicas.»[18] Vou apresentar uma analogia. Podemos gostar da civilização e da literatura francesas, mas, para compreender verdadeiramente a mente francesa, precisamos de aprender a língua francesa e, portanto, de saber conjugar os verbos franceses. O mesmo acontece com a ciência e com a Matemática. Galileu escreveu : «[O Universo] não pode ser lido se não aprendermos a sua linguagem e não nos familiarizarmos com os caracteres em que está escrito. E ele está escrito na linguagem matemática e as letras são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, e sem os sabermos é humanamente impossível compreender uma única palavra.»[19]

Mas os matemáticos orgulham-se muitas vezes de ser os cientistas menos práticos. Quanto mais abstracta e mais inútil for a Matemática, melhor para eles. O que orientou Randall numa direcção diferente quando estudou em Harvard, no início da década de 1980, foi o facto de ela gostar da ideia de que a Física pode criar «modelos» do Universo. Quando os tisicos propõem uma teoria nova, ela não se baseia apenas num conjunto de equações. As novas teorias tisicas baseiam-se geralmente em modelos simplificados e idealizados que tentam aproximar-se de um fenómeno. Estes modelos são geralmente gráficos, pictóricos e de fácil apreensão. O modelo de quarks, por exemplo, baseia-se na ideia de que dentro de um protão há três pequenos constituintes, os quarks. Randall ficou impressionada pelo facto de modelos simples, baseados em representações físicas, poderem explicar adequadamente grande parte do Universo.

Na década de 1990, interessou-se pela teoria M, pela possibilidade de todo o Universo ser uma

membrana. Ela interessou-se por uma das mais intrigantes características da gravidade: o facto de a sua intensidade ser extraordinariamente pequena. Nem Newton nem Einstein tinham levantado esta questão fundamental, embora misteriosa. Enquanto as outras três forças do Universo (o electromagnetismo, a força nuclear fraca e a força nuclear forte) têm sensivelmente a mesma intensidade, a gravidade é de todo muito diferente.

Em particular, as massas dos quarks são muito mais pequenas do que a massa associada à gravidade quântica. «A discrepância não é pequena; as duas massas estão separadas por dezasseis ordens de magnitude! Só as teorias que explicam esta elevada proporção são candidatas viáveis às teorias subjacentes ao modelo padrão»,[20] diz Randall.

O facto de a gravidade ser tão fraca explica a razão pela qual as estrelas são tão grandes. A Terra, com os seus oceanos e os continentes montanhosos, não passa de uma pequena mancha

quando comparada com o enorme Sol. Mas, em virtude de a gravidade ser tão fraca, para comprimir o hidrogénio é necessária a massa de uma estrela inteira para conseguir ultrapassar a força eléctrica de repulsão do protão. Assim, as estrelas são tão maciças porque a gravidade é muito fraca, quando comparada com as outras forças.

Como a teoria M suscitou tanta excitação na Física, vários grupos tentaram aplicar esta teoria ao nosso Universo. Suponha que o Universo é uma 3-brana que flutua num mundo de cinco dimensões. Desta vez, as vibrações na superficie da 3-brana correspondem aos átomos que vemos à nossa volta. Assim, estas vibrações nunca deixam a 3-brana e, deste modo, não podem entrar na quinta dimensão. Embora o nosso Universo flutue na quinta dimensão, os nossos átomos não o podem deixar, porque representam vibrações na superficie da 3-brana. Poderá isto responder à pergunta de Kaluza e de Einstein formulada em

1921: onde está a quinta dimensão? A resposta é: estamos a flutuar na quinta dimensão, mas não podemos entrar nela, porque os nossos corpos estão colados na superficie de uma 3-brana.

No entanto, pode haver uma imperfeição nesta representação. A gravidade representa a curvatura do espaço. Assim, podemos esperar que a gravidade preencha todo o espaço de cinco dimensões em vez de preencher apenas a 3-brana; ao fazê-lo, a gravidade seria diluída à medida que deixasse a 3-brana, o que enfraqueceria a força da gravidade e é um bom argumento em defesa da teoria, porque a gravidade, como bem sabemos, é muito mais fraca do que as outras forças. Contudo, enfraquece demasiado a gravidade: a lei do inverso do quadrado de Newton seria violada, embora a lei do inverso do quadrado funcione perfeitamente para descrever planetas, estrelas e galáxias. Em parte nenhuma do espaço encontramos uma lei do inverso do cubo para a gravidade. (Imagine uma lâmpada que ilumina um quarto. A luz espalha-se numa

esfera. A intensidade da luz vai-se diluindo ao longo dessa esfera. Assim, se dobrarmos o raio da esfera, a luz espalhar-se-á ao longo da esfera com uma área quatro vezes maior. Em geral, se uma lâmpada existir num espaço n dimensional, a sua luz será diluída ao longo de uma esfera cuja área aumenta quando o raio é elevado à potência n-1.)

Para responder a esta questão, um grupo de físicos, incluindo N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos e G. Dvali, sugeriu que talvez a quinta dimensão não esteja a infinita distância, mas sim a um milímetro de nós, flutuando acima do nosso Universo, como na história de ficção científica de H. G. Wells. (Se a quinta dimensão distasse mais de um milímetro, poderia criar violações mensuráveis da lei do inverso do quadrado da distância de Newton.) Se a quinta dimensão está apenas a um milímetro de distância, esta previsão podia ser testada procurando pequenos desvios à lei da gravitação de Newton em distâncias muito pequenas. A lei da gravitação de Newton

funciona perfeitamente em distâncias astronómicas, mas nunca foi testada a menos de um milímetro. Os experimentalistas estão agora a procurar pequenos desvios da lei do inverso do quadrado de Newton. Este resultado motivou várias experiências em curso, como veremos no capítulo 9.

Randall e o seu colega Raman Sundrum decidiram adaptar uma nova metodologia, para reexaminar a possibilidade de a quinta dimensão não estar a um milímetro de distância, mas sim no infinito. Para o fazer, tiveram de explicar como é que a quinta dimensão podia ser no infinito sem invalidar a lei da gravitação de Newton. Foi aqui que Randall encontrou uma potencial resposta para o enigma. Ela descobriu que a 3-brana tem um impulso gravitacional próprio que impede que os gravitões flutuem livremente na quinta dimensão. Os gravitões têm de se agarrar à 3-brana (tal como as moscas ficam presas no papel de mosca) devido à gravidade exercida pela 3-brana. Assim, quando tentamos medir a lei

de Newton, verificamos que é quase correcta no nosso Universo. A gravidade é diluída e enfraquecida quando deixa a 3-brana e penetra na quinta dimensão, mas não vai muito longe: a lei do inverso do quadrado ainda se mantém quase completamente, porque os gravitões ainda são atraídos para a 3-brana. (Randall também introduziu a possibilidade da existência de uma segunda membrana paralela à nossa. Se calcularmos a interacção subtil da gravidade através das duas membranas, ela pode ser ajustada de modo a que possamos explicar numericamente a fraca intensidade da gravidade).

«Houve grande excitação quando, pela primeira vez, se sugeriu que as dimensões adicionais fornecem maneiras alternativas de tratar a origem do [problema da hierarquia]», diz Randall. «Novas dimensões espaciais podem, à primeira vista, parecer uma ideia louca e surpreendente, mas há razões poderosas para acreditar que, na realidade, há dimensões extra do espaço.»[21]

Se estes físicos tiverem razão, a gravidade é tão forte quanto as outras forças, mas a gravidade é atenuada, porque parte dela se escoa para o espaço de dimensões superiores. Uma consequência profunda desta teoria é que a energia a que estes efeitos quânticos se tomam mensuráveis pode não ser a energia de Planck (1O 19 mil milhões de electrões-volt) como antes se pensara. Talvez apenas triliões de elec

trões-volt sejam necessários e, nesse caso o Large Hadron Collider (que se prevê fique concluído em 2007) talvez seja capaz de registar efeitos gravitacionais quânticos ainda nesta década. Isto suscitou considerável interesse entre os físicos experimentais que procuraram partículas exóticas para além do modelo padrão das partículas subatómicas. Talvez os efeitos gravitacionais quânticos estejam realmente ao nosso alcance.

As membranas também oferecem uma resposta plausível, embora especulativa, à ondulação da matéria negra. No romance de H. G.

Wells O Homem Invisível, o protagonista andava na quarta dimensão e, por isso, era invisível. De modo semelhante, imagine que há um mundo paralelo mesmo por cima do nosso Universo. Qualquer galáxia desse Universo paralelo seria invisível para nós. Mas como a gravidade é causada pela curvatura do hiperespaço, a gravidade podia estender-se através dos universos. Qualquer grande galáxia nesse Universo seria atraída através do hiperespaço para uma galáxia do nosso Universo. Assim, quando medíssemos as propriedades das nossas galáxias, descobriríamos que o seu impulso gravitacional era muito mais forte do que se esperava das leis de Newton, porque há uma outra galáxia escondida atrás dela, flutuando numa membrana vizinha. Esta galáxia escondida pousada atrás da nossa seria totalmente invisível, flutuando noutra dimensão, mas teria a aparência de um halo que circunda a nossa galáxia contendo 90% da massa. Assim, a matéria negra pode ser causada pela presença de um Universo paralelo.

UNIVERSOS QUE COLIDEM

Pode ser um pouco prematuro aplicar a teoria M à cosmologia séria. Apesar disso, os físicos tentaram aplicar a «física das branas» para efectuar uma revolução na abordagem inflacionária do Universo. Três cosmologias possíveis foram alvo de atenção.

A primeira tenta responder à questão: porque vivemos em quatro dimensões de espaço-tempo? Em princípio, a teoria M pode ser formulada em todas as dimensões até à décima primeira, pelo que parece um mistério que as quatro dimensões sejam as escolhidas. Robert Brandenberger e Cumrum Vafa especularam que isto talvez fosse devido à geometria particular das cordas.

No cenário desses autores, o Universo começou por ser perfeitamente simétrico, e todas as dimensões superiores firmemente enroladas à escala de Planck. O que impediu que o Universo se expandisse foram arcos de cordas que formavam uma espiral em volta das várias dimensões. Imaginemos uma espiral comprimida que não se

pode expandir, porque está firmemente enrolada pelas cordas. Se as cordas se quebrarem, a espiral libertar-se-á subitamente e expandir-se-á.

Nestas pequenas dimensões, o Universo não se pode expandir, porque há enrolamentos de cordas e de anticordas (grosseiramente falando, as anticordas enrolam-se na direcção oposta à das cordas). Se uma corda e uma anticorda colidem, podem aniquilar-se e desaparecer, tal como um nó que se desfaz. Em dimensões muito grandes, há tanto «espaço» que as cordas e as anticordas raramente colidem e nunca se desfazem. No entanto, Brandenberger e Vafa mostraram que, em três ou menos dimensões espaciais, é mais provável que as cordas colidam com as anticordas. Quando estas colisões tomam lugar, as cordas desatam-se e as dimensões desdobram-se rapidamente, originando o big bang. A característica atraente deste quadro é que a topologia das cordas dá uma explicação grosseira da razão pela qual vemos à nossa volta o espaço-tempo familiar a quatro dimensões. É possível que existam

universos de dimensões superiores, mas é pouco provável que os possamos ver porque estão firmemente enrolados pelas cordas e anticordas.

Mas a teoria M oferece ainda outras possibilidades. Se os universos podem brotar uns dos outros, dando origem a novos universos, então talvez o inverso possa acontecer: os universos podem colidir, produzindo descargas eléctricas durante o processo, e originando novos universos. Num tal cenário, o big bang talvez tenha ocorrido devido a uma colisão de dois universos-brana paralelos e não devido ao nascimento de um Universo.

Esta segunda teoria foi proposta pelos físicos Paul Steinhardt de Princeton, Burt Ovrut, da Universidade da Pensilvânia, e Neil Turok, da Universidade de Cambridge, que criaram o Universo «ecpirótico» (do nome grego que significa «conflagraçã0>>) para incorporar as novas características do sistema de M-branas, no qual algumas das dimensões adicionais podiam ser grandes ou mesmo infinitas. Começaram com

duas 3-branas planas, homogéneas e paralelas que representam o estado de energia mais baixo. Os universos são, de início, vazios e frios, mas a gravidade impele-as simultaneamente de modo gradual. Acabam por colidir, sendo a enorme energia cinética da colisão convertida na matéria e na radiação que constituem o nosso Universo. Alguns chamam-lhe teoria do «big splat» de preferência a teoria do big bang, porque o cenário envolve a colisão de duas branas.

A força da colisão afasta os dois universos. Quando estas duas membranas se separam uma da outra, arrefecem rapidamente, dandonos o Universo que vemos hoje. O arrefecimento e a expansão continuam durante biliões de anos, até os universos se aproximarem do zero absoluto em temperatura e a densidade ser apenas um electrão por quadrilião cúbico de anos-luz. Com efeito, o Universo toma-se vazio e inerte. Mas a gravidade continua a atrair as duas membranas até, triliões de anos-luz mais tarde, colidirem de novo e o ciclo repete-se.

Este novo cenário é capaz de obter os bons resultados da inflação (achatamento, uniformidade). Resolve a questão de saber a razão pela qual o Universo é tão plano - porque começou com duas branas planas. O modelo também pode explicar o problema do horizonte - isto é, o Universo parece tão uniforme em todas as direcções pelo facto de a membrana ter tido muito tempo para alcançar lentamente o equilíbrio. Assim, embora a inflação explique o problema do horizonte por o Universo ter sofrido inflação de modo abrupto, este cenário resolve o problema do horizonte de maneira oposta, pelo facto de o Universo ter atingido o equilíbrio em movimento lento.

(Isto também significa que é possível que existam outras membranas flutuando no hiperespaço que, no futuro, podem colidir com as nossas, originando um outro big splat. Como o nosso Universo está em aceleração, pode ser provável outra colisão. Steinhardt acrescenta: «Talvez a aceleração da expansão do Universo

seja precursora dessa colisão. Não é um pensamento agradável.»)[22]

Qualquer cenário que desafie drasticamente o quadro vigente da inflação está sujeito a provocar réplicas calorosas. De facto, uma semana antes de o artigo ter sido disponibilizado na Web, Andrei Linde e a sua mulher, Renata Kallosh (ela também teórica das cordas), e Lev Kofman, da Universidade de Toronto, publicaram uma crítica deste cenário. Linde criticou este modelo, porque uma coisa tão catastrófica como a colisão de dois universos podia criar uma singularidade, onde as temperaturas e as densidades se aproximam do infinito. «Isto seria como atirar uma cadeira para um buraco negro, que faria vaporizar as partículas da cadeira, e dizer que, de algum modo, a forma da cadeira se preserva»23, protestou Linde.

Steinhardt ripostou, dizendo: «Ü que parece uma singularidade em quatro dimensões pode não o ser em cinco dimensões ... Quando as membranas se esmagam, a quinta dimensão

desaparece temporariamente, mas as branas não desaparecem. Assim, a densidade e a temperatura não atingem o infinito e o tempo prossegue. Embora a relatividade falhe, o mesmo não acontece com a teoria de cordas. E aquilo que outrora parecia um desastre no nosso modelo parece agora controlável.»

Steinhardt tem do seu lado o poder da teoria M, que se sabe eliminar as singularidades. De facto, essa é a razão teórica pela qual os físicos precisam de começar por uma teoria quântica da gravidade, para eliminar todos os infinitos. Linde, contudo, sublinha uma vulnerabilidade conceptual nesta representação: no começo, as membranas existiram num estado plano e uniforme. «Se começar com perfeição, pode explicar o que vê... mas ainda não respondeu à questão: Porque é que o Universo tem de começar num estado de perfeição?» pergunta Linde. Steinhardt replica: «Plano mais plano é igual a plano.»[24] Por outras palavras, temos de admitir que as membranas começaram no estado de energia mais

baixo, que corresponde a um Universo sem curvatura.

Alan Guth tem mantido uma posição neutra. «Não penso que o Paul e o Neil tenham conseguido resolver o problema. Mas as suas ideias são certamente dignas de atenção»[25], diz ele. E desafia os teóricos das cordas a explicar a inflação: «A longo prazo, penso que é inevitável que a teoria de cordas e a teoria M tinham de incorporar a inflação, uma vez que a inflação parece ser uma solução óbvia para o problema que se levantou - isto é, porque é que o Universo é tão uniforme e plano.»[26] Assim, faz a seguinte pergunta: pode a teoria M deduzir o quadro padrão da inflação?

Finalmente, há uma outra teoria rival da cosmologia que utiliza a teoria de cordas, a teoria do «pré-big bang» de Gabriele Veneziano, a física que ajudou a iniciar a teoria de cordas em 1968. Nesta teoria, o Universo começou realmente na forma um buraco negro. Se quisermos saber

como é o interior de um buraco negro, tudo o que temos de fazer é olhar para fora.

Nesta teoria, o Universo é, na realidade, infinitamente antigo e começou, no passado distante, por ser quase vazio e frio. A gravidade começou por criar corpúsculos de matéria ao longo do Universo, que gradualmente se condensaram em regiões tão densas que se transformaram em buracos negros. Os horizontes de eventos começaram a formar-se em volta dos buracos negros, separando permanentemente o exterior do horizonte de eventos do interior. Dentro de cada horizonte de eventos, a matéria continuou a ser comprimida pela gravidade, até os buracos negros acabarem por atingir o comprimento de Planck.

Neste contexto, a teoria de cordas ganhou importância. O comprimento de Planck é a distância mínima permitida pela teoria de cordas. O buraco negro é então objecto de uma enorme explosão, causando o big bang. Como este processo se pode repetir ao longo do Universo, isto significa

que pode haver outros buracos negros distantes ou universos.

(A ideia de que o nosso Universo talvez seja um buraco negro não é tão artificial como parece. Temos a noção intuitiva de que um buraco negro tem de ser extremamente denso, com um campo gravitacional enorme e esmagador, mas este não será sempre o caso. O tamanho do horizonte de eventos de um buraco negro é proporcional à sua massa. Quanto mais maciço for um buraco negro, maior será o seu horizonte de eventos. Mas um horizonte de eventos maior significa que a matéria se dispersa num volume maior; consequentemente, a densidade diminui, de facto, à medida que a massa aumenta. Com efeito, se um buraco negro pesasse tanto quanto o nosso Universo, teria aproximadamente o tamanho deste e a sua densidade seria muito baixa, comparável à densidade do nosso Universo).

Alguns astrofísicos, no entanto, não estão impressionados com a aplicação da teoria de cordas e da teoria M à cosmologia. Joel Primack, da

Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, é menos liberal que outros: «Penso que é insensato dar tanta importância a esta matéria ... As ideias destes artigos não podem, na sua essência, ser testadas.» [27] Só o tempo poderá dizer se Primack tem razão, mas, como a teoria de cordas se tem desenvolvido de uma forma acelerada, podemos encontrar uma resolução deste problema em breve, e essa solução pode provir dos nossos satélites espaciais. Como veremos no capítulo 9, será enviada para o espaço exterior, em 2020, uma nova geração de detectores de ondas de gravidade, como o LISA, que nos permitirá determinar ou verificar algumas destas teorias. Se a teoria da inflação se mostrar errada, por exemplo, o LISA detectará ondas de gravidade violentas criadas pelo processo inflacionário original. O Universo ecpirótico, contudo, prevê uma colisão lenta entre universos e, assim, as ondas de gravidade serão muito mais suaves. O LISA poderá escolher experimentalmente uma dessas teorias. Por outras palavras, os dados necessários

para determinar qual o cenário correcto estão codificados nas ondas de gravidade criadas pelo big bang original. O LISA poderá, pela primeira vez, fornecer-nos resultados experimentais sólidos sobre a inflação, a teoria de cordas e a teoria M.

MINIBURACOS NEGROS

Como a teoria de cordas é, na realidade, uma teoria de todo o Universo, testá-la directamente requer a criação de um Universo no laboratório (ver capítulo 9). Normalmente, espera-se que os efeitos quânticos resultantes da gravidade se verifiquem na energia de Planck, que é um muitas vezes maior do que se pode obter com o nosso mais poderoso acelerador de partículas, o que impossibilita testar directamente a teoria de cordas. Mas se, de facto, existir um Universo paralelo a menos de um milímetro do nosso, então a energia a que a unificação e os efeitos quânticos ocorrem talvez seja muito baixa, e esteja ao alcance da próxima geração de aceleradores de partículas, como o Large Hadron Collider (LHC). Isto, por sua vez, suscitou um enorme interesse pela física

dos buracos negros, em particular pelo mais excitante, o «miniburaco negro». Os miniburacos negros, que actuam como se fossem partículas subatómicas, são um «laboratório» onde é possível testar algumas das previsões da teoria de cordas. Os físicos estão entusiasmados com a possibilidade de os criar no LHC. (Os miniburacos negros são tão pequenos, quando comparados com um electrão, que não ameaçam engolir a Terra. Os raios cósmicos atingem rotineiramente a Terra com energias que excedem a dos miniburacos negros, sem efeitos danosos para o planeta.)

Por mais revolucionário que possa parecer, um buraco negro disfarçado de partícula subatómica é, na realidade, uma ideia antiga, introduzida por Einstein em 1935. Segundo Einstein, tem de haver uma teoria do campo unificado em que a matéria, constituída por partículas subatómicas, podia ser vista como uma espécie de distorção na estrutura do espaço-tempo. Para ele, as partículas subatómicas como o electrão

eram, na realidade, «singularidades» ou buracos de verme no espaço curvo, que, à distância, pareciam uma partícula. Einstein e Nathan Rosen brincaram com a ideia de que um electrão pudesse ser, na realidade, um miniburaco negro disfarçado. Desta maneira, tentou incorporar matéria na sua teoria do campo unificado, o que reduziria as partículas subatómicas a pura geometria.

Os miniburacos negros voltaram a ser introduzidos por Stephen Hawking, que provou que os buracos negros têm de se evaporar e emitir um brilho ténue de energia. Ao longo de muitos eões, um buraco negro emitirá tanta energia que diminuirá gradualmente de tamanho, acabando por ficar do tamanho de uma partícula subatómica.

A teoria de cordas está agora a reintroduzir o conceito de miniburaco negro. Convém lembrar que os buracos negros se formam quando uma grande quantidade de matéria é comprimida além do seu raio de Schwarzschild. Como a massa e a energia se podem converter uma na outra, os

buracos negros também podem ser criados pela compressão de energia. Há um considerável interesse em saber se o LHC poderá produzir miniburacos negros entre os destroços resultantes do esmagamento de dois protões a 14 biliões de electrões-volt de energia. Estes buracos negros seriam muito pequenos, pesando talvez apenas mil vezes a massade um electrão e durariam apenas 10^{-23} segundos. Mas seriam claramente visíveis entre os vestígios das partículas subatómicas criadas pelo LHC.

Os físicos também esperam que os raios cósmicos provenientes do espaço exterior possam conter miniburacos negros. O Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, na Argentina, é tão sensível que pode detectar algumas das maiores emissões de raios cósmicos jamais registadas pelos cientistas. A esperança é que os miniburacos negros possam ser encontrados naturalmente entre os raios cósmicos, o que produziria uma chuva característica quando atingissem a atmosfera superior da Terra. Um

cálculo mostra que o detector Auger Cosmic Ray pode observar até dez chuvas de raios cósmicos por ano disparadas por um miniburaco negro. A detecção de um miniburaco negro pelo LHC, na Suíça, ou pelo detector do Observatório Pierre Auger, na Argentina, talvez venha a produzir ainda nesta década provas consistentes da existência de universos paralelos. Embora não venha a provar conclusivamente a correcção da teoria de cordas, convencerá a comunidade dos físicos de que a teoria de cordas é coerente com todos os resultados experimentais e está, por isso, no caminho certo.

OS BURACOS NEGROS E O PARADOXO DA INFORMAÇÃO

A teoria de cordas também pode esclarecer alguns dos mais complexos paradoxos da física dos buracos negros, tal como o paradoxo da informação. Convém recordar que os buracos negros não são completamente negros, mas emitem pequenas quantidades de radiação através do efeito de túnel. Devido à teoria quântica, há

sempre uma pequena possibilidade de a radiação poder escapar ao controlo rígido da gravidade de um buraco negro. Isto leva a uma pequena perda de radiação de um buraco negro, a chamada radiação de Hawking.

Esta radiação, por sua vez, está associada a uma temperatura (que é proporcional à área da superficie do horizonte de eventos do buraco negro). Hawking apresentou uma derivação geral pouco rigorosa desta equação. Contudo, uma derivação rigorosa deste resultado exigiria todo o poder da mecânica estatística (baseada na contagem dos estados quânticos de um buraco negro). Geralmente, os cálculos da mecânica estatística efectuam-se contando o número de estados que um átomo ou uma molécula podem ocupar. Mas como contar os estados quânticos de um buraco negro? Na teoria de Einstein, os buracos negros são perfeitamente uniformes, pelo que era problemático contar os seus estados quânticos.

Os teóricos das cordas estavam ansiosos por tapar este hiato; por isso, Andrew Strominger e

Cumrum Vafa, de Harvard, decidiram analisar um buraco negro usando a teoria M. Uma vez que era tão dificil trabalhar com um buraco negro, adaptaram uma metodologia diferente e formularam uma questão inteligente: qual é o dual de um buraco negro? (Sabemos que o electrão é dual de um monopólo magnético, com um único pólo norte. Por conseguinte, examinando um electrão num campo eléctrico fraco, o que é fácil, podemos analisar uma experiência muito mais dificil: um monopólo colocado num campo magnético muito intenso.) A esperança era que o dual do buraco negro fosse mais fácil de analisar do que o próprio buraco negro, embora o resultado final fosse o mesmo. Através de um conjunto de manipulações matemáticas, Strominger e Vafa conseguiram mostrar que o buraco negro era dual de conjuntos de 1-brana e de 5-brana. Isto trouxe um tremendo alívio, visto que a contagem dos estados quânticos destas branas era conhecida. Quando Strominger e Vafa calcularam o número de estados quânticos, verificaram

que a resposta reproduzia exactamente o resultado de Hawking.

Estas notícias foram bem-vindas A teoria de cordas, que é por vezes ridicularizada, por não estar relacionada com o mundo real, oferece a solução talvez mais elegante da termodinâmica do buraco negro.

Agora, os teóricos das cordas estão a tentar resolver o problema mais dificil da física do buraco negro, o «paradoxo da informação». Hawking defendeu que, se se lançasse um objecto para um buraco negro, a informação que ele transportasse perder-se-ia para sempre, não voltando a ser recuperada. (Isto seria uma maneira inteligente de cometer um crime perfeito. Um criminoso podia usar um buraco negro para destruir todas as provas que o incriminassem.) À distância, os únicos parâmetros que podemos medir num buraco negro são a sua massa, o spin e a carga. O que quer que se lançasse para o interior de um buraco negro perderia toda a sua informação. (Este facto traduz-se pela asserção

«os buracos negros não têm cabelo», isto é, perdem toda a informação, todo o cabelo, excepto esses três parâmetros).

A perda de informação do nosso Universo parece ser uma consequência inevitável da teoria de Einstein, o que viola o princípio da mecânica quântica, segundo a qual a informação não pode ser perdida. Algures, a informação tem de estar no nosso Universo, mesmo que o objecto original tenha sido enviado para a garganta de um buraco negro.

«A maior parte dos físicos quer acreditar que a informação não se perde»,28 escreveu Hawking, «porque isto tomaria o mundo seguro e previsível. Mas eu acredito que, se tomarmos a sério a relatividade geral de Einstein, temos de admitir a possibilidade de o espaço-tempo formar nós e de a informação ficar perdida nas dobras. Determinar se a informação se perde ou não é hoje um dos maiores problemas da física teórica.»

Este paradoxo, que opõe Hawking à maior parte dos teóricos das cordas ainda não foi

resolvido. Mas a aposta entre os teóricos das cordas é que acabaremos por descobrir para onde foi a informação perdida. (Por exemplo, se atirarmos um livro para dentro de um buraco negro, é possível que a informação contida no livro se infiltre suavemente no nosso Universo na forma de pequenas vibrações contidas na radiação de Hawking de um buraco negro em evaporação. Ou talvez volte a emergir de um buraco branco no outro lado do buraco negro.) É por isso que eu pressinto que, quando alguém acabar por descobrir o que acontece à informação que desaparece num buraco negro na teorias das cordas, descobrir-se-á que a informação, na realidade, não se perdeu, mas reapareceu subtilmente algures.

Em 2004, numa reviravolta surpreendente, Hawking apareceu na primeira página do New York Times anunciando perante as câmaras da televisão que estava enganado quanto ao problema da informação. (Há trinta anos, tinha apostado com outros físicos que a informação

nunca poderia sair de um buraco negro. Quem perdesse a aposta teria de dar ao vencedor uma enciclopédia, de onde a informação facilmente pode ser recuperada.) Refazendo alguns dos seus cálculos anteriores, concluiu que, se um objecto como um livro caísse num buraco negro, poderia perturbar o campo de radiação que emite, permitindo que a informação fosse restituída ao Universo. A informação contida no livro seria codificada lentamente na radiação escoada do buraco negro, embora de uma forma mutilada.

Por um lado, isto colocou Hawking ao lado dos físicos quânticos, que acreditam que a informação não pode ser perdida. Mas também levantou a questão: pode a informação passar para um Universo paralelo? À primeira vista, o seu resultado parecia suscitar dúvidas sobre a ideia de que a informação pode passar através de um buraco de verme para um Universo paralelo. No entanto, ninguém acredita que esta seja a última palavra sobre este assunto. Até a teoria de cordas estar completamente desenvolvida, ou até estar

concluído um cálculo gravítico quântico, ninguém acreditará que o paradoxo da informação está completamente resolvido.

O UNIVERSO HOLOGRÁFICO

Finalmente, há uma previsão bastante misteriosa da teoria M que ainda não está compreendida, mas que pode ter consequências físicas e psicológicas profundas. Este resultado obriga-nos a formular a questão: é o Universo um holograma? Existe um «Universo sombra» onde os nossos corpos têm uma forma bidimensional comprimida? Isto levanta ainda uma outra questão igualmente perturbadora: é o Universo um programa de computador? Pode o Universo ser colocado num CD, para ser tocado quando quisermos?

Os hologramas encontram-se agora nos cartões de crédito, nos centros de ciência e nos parques de diversões. São notáveis, porque podem captar uma imagem tridimensional completa numa superficie bidimensional. Normalmente, se olharmos para uma fotografia e movermos a

cabeça, a imagem da fotografia não se altera. Mas um holograma é diferente. Quando olhamos para uma imagem holográfica e movemos a cabeça, a imagem altera-se, como se estivéssemos a olhar para a imagem através de uma janela ou do buraco de uma fechadura. (Os hologramas podem dar lugar a programas de televisão e filmes tridimensionais. No futuro, talvez possamos descansar na sala de estar enquanto olhamos para um ecrã na parede que nos apresenta uma imagem tridimensional de lugares distantes, como se o ecrã fosse uma verdadeira janela aberta sobre uma outra paisagem. Além disso, se o ecrã tivesse a forma de um enorme cilindro e a nossa sala de estar estivesse no centro, pareceria que tínhamos sido transportados para um novo mundo. Para onde quer que olhássemos, veríamos a imagem tridimensional de uma nova realidade que não distinguiríamos da verdadeira.)

A essência do holograma é que a superficie bidimensional do holograma codifica toda a informação necessária para reproduzir uma

imagem tridimensional. (Os hologramas são feitos no laboratório fazendo incidir uma luz laser numa chapa fotográfica sensível e permitindo que a luz interfira com a luz laser da fonte original. A interferência das duas fontes de luz cria um padrão de interferência que «paralisa» a imagem na chapa bidimensional).

Alguns cosmólogos conjecturaram que é possível aplicar isto ao próprio Universo - que talvez vivamos num holograma. As origens desta estranha especulação advém da física dos buracos negros. Bekenstein e Hawking conjecturaram que a quantidade total de informação contida num buraco negro é proporcional à área da superficie do seu horizonte de eventos (que é uma esfera). Este é um resultado estranho, porque geralmente a informação armazenada num objecto é proporcional ao seu volume. Por exemplo, a quantidade de informação armazenada num livro é proporcional ao seu volume e não à área da superfície da sua capa. Sabemos isto instintivamente, quando dizemos que não podemos julgar um

livro pela sua capa. Mas esta intuição não é válida para os buracos negros: podemos julgar completamente um buraco negro pela sua «capa».

Podemos menosprezar esta hipótese curiosa, porque os buracos negros são por si próprios singularidades estranhas, onde a intuição normal não é válida. Contudo, este resultado também se aplica à teoria M, que nos pode dar a melhor descrição de todo o Universo. Em 1997, Juan Maldacena, do Instituto de Estudos Avançados em Princeton, causou grande sensação quando mostrou que a teoria de cordas leva a um novo tipo de Universo holográfico.

Começou com um «Universo anti-de Sittern de cinco dimensões que aparece muitas vezes na teoria de cordas e na teoria da supergravidade. Um Universo de de Sitter é um Universo com uma constante cosmológica positiva que cria um Universo em aceleração. (Recorde-se que o nosso Universo é actualmente mais bem representado por um Universo de de Sitter, com uma constante cosmológica que afasta as galáxias umas das

outras a velocidades cada vez maiores. Um Universo anti-de Sitter tem uma constante cosmológica negativa e, por isso, pode implodir.) Maldacena mostrou que há uma dualidade entre este Universo em cinco dimensões29 e a sua «fronteira», que é um Universo quadridimensional. Estranhamente, quaisquer seres que vivessem no espaço a cinco dimensões seriam matematicamente equivalentes aos seres que vivam no espaço a quatro dimensões. Não há maneira de os separar.

Por analogia grosseira, imaginemos os peixes que nadam num aquário. Estes peixes pensam que o seu aquário corresponde à realidade. Agora imaginemos que é projectada na superfície do aquário uma imagem holográfica bidimensional destes peixes. Esta imagem contém uma réplica exacta dos peixes originais, com a diferença de serem achatados. Qualquer movimento que os peixes façam no aquário é reflectido pela imagem plana na superfície do aquário. Tanto os peixes que nadam no aquário como os peixes achatados

que vivem à superfície do aquário pensam que são os verdadeiros peixes e que os outros são pura ilusão. Ambos os peixes estão vivos e agem como se fossem os verdadeiros peixes. Qual das descrições é correcta? Na verdade, ambas são correctas, uma vez que são matematicamente equivalentes e não se distinguem uma da outra.

O que surpreendeu os teóricos de cordas é o facto de o espaço do Universo anti-de Sitter de cinco dimensões permitir efectuar cálculos relativamente simples, ao passo que as teorias do campo quadridimensional são manifestamente dificeis de resolver. (Mesmo hoje, após décadas de trabalho árduo, os nossos computadores mais poderosos não conseguem resolver o modelo quadridimensional dos quarks e deduzir as massas do protão e do neutrão. As equações dos próprios quarks estão bem compreendidas, mas provou-se que era mais dificil do que se pensara resolvê-las em quatro dimensões, para obter as propriedades dos protões e neutrões.) Um dos objectivos é

calcular as massas e as propriedades do protão e do neutrão, usando esta estranha dualidade.

Esta dualidade holográfica também pode ter aplicações práticas, tais como resolver o problema da informação na física dos buracos negros. Em quatro dimensões, é extremamente dificil provar que a informação não se perde quando lançamos objectos através de um buraco negro. Mas este espaço é dual para um mundo de cinco dimensões, onde é provável que a informação nunca se perca. A esperança é que os problemas irresolúveis em quatro dimensões (tais como o problema da informação, o cálculo das massas do modelo de quarks, e outros) possam vir a ser resolvidos em cinco dimensões, onde a matemática é mais simples. E é sempre possível que esta analogia seja, de facto, um reflexo do mundo real -isto é, que nós existamos, de facto, como hologramas.

O UNIVERSO É UM PROGRAMA DE COMPUTADOR?

John Wheeler, como já vimos, acreditava que todas as realidades físicas podiam ser reduzidas a pura informação. Bekenstein levou a ideia da informação do buraco negro um pouco mais longe, para um terreno completamente novo, perguntando: é o Universo inteiro um programa de computador? Seremos nós apenas bits de um CD cósmico?

A ideia de saber se vivemos num programa de computador foi brilhantemente transposta para o cinema pelo filme Matrix, onde os alienígenas reduziram toda a realidade física a um programa de computador. Milhares de milhões de seres humanos pensam que estão a viver a sua vida quotidiana, esquecidos de que tudo é uma fantasia criada pelo computador, embora os seus corpos verdadeiros estejam adormecidos em receptáculos, de que os alienígenas se servem como uma fonte de energia.

No filme, é possível fazer correr programas de computador mais pequenos que podem criar minirrealidades artificiais. Se alguém quer ser

mestre de Kung Fu ou piloto de helicóptero, insere um CD num computador, o programa é instalado no cérebro e pronto! Estas competências complicadas são imediatamente adquiridas. Enquanto o CD corre, é criada uma nova sub-realidade. Mas isto levanta um problema intrigante: pode toda a realidade ser armazenada num CD? O poder para um computador simular a realidade de milhares de milhões de seres humanos adormecidos é verdadeiramente impressionante. Mas em teoria: pode todo o Universo ser digitalizado num programa finito de computador? As raízes desta pergunta remontam às leis do movimento de Newton com aplicações muito práticas na nossa vida. Mark Twain ficou famoso por afirmar: «Toda a gente se queixa do tempo, mas ninguém faz nada por ele.» A civilização moderna não pode mudar o curso de um único temporal, mas os físicos colocaram uma questão mais modesta: é possível prever o tempo? Pode conceber-se um programa de computador para prever o curso dos complexos padrões das

condições atmosféricas na Terra? Isto tem muitas aplicações práticas para quem se preocupa com a meteorologia, desde os camponeses que querem saber como fazer as suas colheitas até aos meteorologistas que querem conhecer a evolução do aquecimento global neste século.

Em princípio, os computadores podem usar as leis do movimento de Newton para calcular com precisão quase arbitrária a evolução das moléculas que determinam o estado do tempo. Mas, na prática, os programas de computador são muito pouco desenvolvidos e não prevêem o tempo de maneira fiável para além de alguns dias, na melhor das hipóteses. Para prever o tempo, seria preciso determinar o movimento de cada molécula de ar - uma coisa que está muito aquém das capacidades dos nossos computadores mais poderosos; há ainda os problemas da teoria do caos e do «efeito de borboleta», segundo o qual a mais pequena vibração da asa de uma borboleta pode causar um efeito de ondulação que, em momentos fundamentais, pode alterar decisivamente

as condições climatéricas a centenas de quilómetros de distância.

Os matemáticos resumem esta situação dizendo que o mais pequeno modelo que pode descrever com precisão o tempo é o próprio tempo. Em vez de analisar ao nível microscópico cada molécula, o melhor que podemos fazer são previsões do tempo para o dia seguinte e procurar tendências e padrões mais vastos (como o efeito de estufa).

Assim, é extremamente difícil reduzir um mundo newtoniano a um programa de computador, visto que há muitas variáveis e muitas «borboletas». Mas no mundo quântico acontecem coisas estranhas.

Bekenstein, como vimos, mostrou que o conteúdo total de informação de um buraco negro é proporcional à área da superficie do seu horizonte de eventos. Há uma maneira intuitiva de ver isto. Muitos físicos acreditam que a mais pequena distância possível é o comprimento de Planck, 10^{-33} cm. A esta distância incrivelmente

pequena, o espaço-tempo já não é uniforme, mas toma-se «espumoso», isto é, semelhante a uma espuma. Podemos dividir a superficie esférica do horizonte em pequenos quadrados, cada um do tamanho do comprimento de Planck. Se cada um destes quadrados contiver um bit de informação e se somarmos todos os quadrados, obteremos aproximadamente o conteúdo de informação total do buraco negro. Isto parece indicar que cada um destes «quadrados de Planck» é a mais pequena unidade de informação. Se assim for, Bekenstein diz que talvez a verdadeira linguagem da Física seja a informação e não a teoria de campos. Segundo ele diz, «a teoria de campos com os seus infinitos, não pode ser a verdade final.»[30]

Desde o trabalho de Michael Faraday no século XIX, a Física tem sido formulada na linguagem de campos, que são uniformes, contínuos e que medem a intensidade do magnetismo, da electricidade e da gravidade em qualquer ponto do espaço-tempo. Mas a teoria de campos baseia-se em estruturas contínuas e não em estruturas

digitalizadas. Um campo pode ocupar qualquer valor, ao passo que um número digitalizado apenas pode representar números discretos baseados em zeros e uns. Esta é a diferença, por exemplo, entre uma folha de borracha lisa na teoria de Einstein e uma malha de arame fino. A folha de borracha pode ser dividida num número infinito de pontos, ao passo que na malha de arame há uma distância mínima entre os nós, que depende da textura da malha.

Bekenstein sugere que «uma teoria final tem de estar relacionada não com campos, nem mesmo com espaço-tempo, mas com troca de informação entre processos físicos.»[31]

Se o Universo pode ser digitalizado e reduzido a zeros e uns, então qual é o seu conteúdo total de informação? Bekenstein estima que um buraco negro com cerca de um centímetro de diâmetro pode conter 10^{66} bits de informação. Mas, se um objecto de um centímetro pode armazenar tantos bits de informação, então ele estima que o Universo visível contém provavelmente muito

mais informação, não menos do que 10^{100} bits de informação (que pode, em princípio, ser comprimida numa esfera com um décimo de ano-luz de diâmetro. Este número colossal, 1 seguido de 100 zeros chama-se um googol.)

Se esta representação estiver correcta, a situação é estranha. Pode significar que, enquanto o mundo newtoniano não pode ser simulado por computadores (ou apenas pode ser simulado por um sistema tão grande quanto ele próprio), num mundo quântico, talvez o próprio Universo possa ser armazenado num CD! Em teoria, se conseguirmos colocar 10^{100} bits de informação num CD, poderemos observar qualquer evento do nosso Universo a desenrolar-se na nossa sala de estar. Em princípio, poderemos dispor ou reprogramar os bits neste CD, de modo a que a realidade física se processe de uma maneira diferente. Em certo sentido, a nossa capacidade de reescrever o guião seria semelhante à de Deus.

(Bekenstein também admite que o conteúdo total de informação do Universo podia ser muito

maior. De facto, o volume mais pequeno que pode conter essa informação talvez seja o próprio Universo. Se é verdade, então voltamos ao ponto de partida: o sistema mais pequeno que pode modelar o Universo é ele próprio.)

Contudo, a teoria de cordas oferece uma interpretação ligeiramente diferente da «distância mínima» e da possibilidade de digitalizar o Universo num CD. A teoria M possui aquilo a que se chama dualidade T. Recorde-se que o filósofo grego Zenão pensava que uma linha podia ser dividida num número infinito de pontos, sem limite. Hoje, os físicos quânticos como Bekenstein acreditam que a distância mínima pode ser a distância de Planck de 1o-33 centímetros, onde a estrutura do espaçotempo se torna espumosa, cheia de bolhas. Mas a teoria M operou uma revolução. Suponhamos que pegamos numa teoria de cordas e enrolamos uma dimensão num círculo de raio R. Depois pegamos noutra corda e enrolamos uma dimensão num círculo de raio 1/R. Comparando estas duas teorias

completamente diferentes, verificamos que são exactamente a mesma.

Agora, seja R extremamente pequeno, muito mais pequeno do que o comprimento de Planck. Isto significa que a física dentro do comprimento de Planck é idêntica à física fora desse comprimento. No comprimento de Planck, o espaço-tempo pode tornar-se granuloso e espumoso, mas a física dentro dele e a física a distâncias muito grandes podem ser, de facto, uniformes e idênticas.

Esta dualidade foi descoberta em 1984 pelo meu ex-colega Keiji Kikkawa e o seu aluno Masami Yamasaki, da Universidade de Osaka. Embora a teoria de cordas conclua aparentemente que há uma «distância mínima», o comprimento de Planck, a física não termina abruptamente no comprimento de Planck. A nova perspectiva é que a física menor do que o comprimento de Planck é equivalente à física maior do que esse comprimento.

Se esta interpretação bastante confusa estiver correcta, então isso significa que, até mesmo dentro da «distância mínima» da teoria de cordas, poderá existir um Universo inteiro. Por outras palavras, ainda poderemos usar a teoria de campos, com as suas estruturas contínuas (não digitalizadas) para descrever o Universo a distâncias dentro da energia de Planck. Assim, talvez o Universo não seja nenhum programa de computador. Em qualquer caso, uma vez que se trata de um problema bem definido, o tempo o dirá.

(Esta dualidade T é a justificação do cenário «pré-big bang» de Veneziano que mencionei. Nesse modelo, um buraco negro sofre o colapso para um comprimento de Planck e depois «salta» e retrocede para o big bang. Este salto não é um evento abrupto, mas a dualidade T uniforme entre um buraco negro menor do que o comprimento de Planck e um Universo em expansão maior do que o comprimento de Planck.)

O FIM?

Se a teoria M for bem sucedida, se for, de facto, uma teoria de tudo, representará ela o fim da Física tal como a conhecemos?

A resposta é não. Vou dar um exemplo. O simples conhecimento das regras de xadrez não faz de nós grandes mestres. De modo semelhante, conhecer as leis do Universo não significa que sejamos grandes mestres na compreensão da riqueza e da variedade das suas soluções.

Pessoalmente, penso que a teoria M oferece novas perspectivas surpreendentes sobre o modo como o Universo deve ter começado, embora ainda possa ser um tanto ou quanto prematuro aplicá-la à cosmologia. O principal problema, creio, é que o modelo ainda não se encontra na sua forma final. A teoria M pode perfeitamente ser a teoria de tudo, mas julgo que está muito longe de estar acabada. A teoria tem evoluído desde 1968 e as suas equações finais ainda não foram encontradas. (Por exemplo, a teoria de cordas pode ser formulada através da teoria do campo das cordas, como Kikkawa e eu

mostrámos há anos. A contrapartida destas equações para a teoria M é desconhecida.)

A teoria M debate-se com alguns problemas. Um deles é que os físicos estão agora afogados em p-branas. Escreveram-se muitos artigos na tentativa de catalogar a variedade desconcertante de membranas que podem existir em diferentes dimensões. Há membranas com a forma de donut com um buraco, com a forma de um donut com vários buracos, membranas que se intersectam, e outras.

Recorde-se o que acontece quando os famosos sábios cegos encontram um elefante. Consoante a parte do elefante em que cada um toca, constrói-se uma teoria diferente. Um sábio, que toque na cauda, dirá que o elefante é 1-brana (uma corda). Outro sábio, que toque na orelha, dirá que o elefante é 2-brana (uma membrana). Finalmente, o terceiro dirá que os outros dois sábios estão enganados. Se tocar nas pernas, que parecem troncos de árvores, este terceiro sábio dirá que o elefante é um 3-brana. Como são

cegos, não podem ver a imagem completa, mas a soma total de 1-brana, 2-brana e 3-brana é apenas um simples animal, um elefante.

De modo análogo, é difícil acreditar que as centenas de membranas encontradas na teoria M são de algum modo fundamentais. Actualmente, ainda não dispomos de uma compreensão total da teoria M. O meu ponto de vista, que tem orientado a minha investigação recente, é que estas membranas e estas cordas representam a «condensação» do espaço. Einstein tentou descrever a matéria de uma forma puramente geométrica, como uma espécie de dobra na estrutura do espaço-tempo. Se tivermos um lençol, por exemplo, e lhe fizermos uma dobra, esta actuará como se tivesse vida própria. Einstein tentou modelar o electrão e outras partículas elementares como uma espécie de perturbação na geometria do espaço-tempo. Embora tenha acabado por fracassar, esta ideia pode ser retomada num nível muito mais elevado no quadro da teoria M.

Penso que Einstein estava no caminho certo. A sua ideia era gerar a física subatómica através da geometria. Em vez de procurarmos um análogo geométrico das partículas pontuais, que era a estratégia de Einstein, podíamos retomá-la e tentar construir um análogo geométrico de cordas e de membranas exclusivamente feito de espaço-tempo.

Uma maneira de reconhecer a lógica desta metodologia é considerar a Física do ponto de vista histórico. No passado, quando os físicos eram confrontados com um espectro de objectos, compreendíamos que havia algo de mais fundamental na raiz. Por exemplo, quando descobrimos as linhas espectrais emitidas pelo gás hidrogénio, acabámos por compreender que tinham origem no átomo, nos saltos quânticos dos electrões que orbitam o núcleo. De modo semelhante, quando confrontados com a proliferação de partículas sujeitas a interações fortes na década de 1950, os físicos acabaram por perceber que não eram senão estados ligados dos quarks. E,

confrontados com a proliferação de quarks e de outras partículas «elementares» do modelo padrão, a maior parte dos físicos acredita agora que têm origem nas vibrações das cordas.

Com a teoria M, vemo-nos confrontados com a proliferação de pbranas de todos os tipos e variedades. É dificil acreditar que possam ser fundamentais, porque existem demasiadas p-branas e porque elas são intrinsecamente instáveis e divergentes. Uma solução mais simples, que concorda com a abordagem histórica, é admitir que a teoria M tem origem num paradigma ainda mais simples, talvez a própria geometria.

Para solucionar esta questão fundamental, precisamos de conhecer o princípio físico subjacente à teoria e não apenas os segredos da sua matemática. Como diz o físico Brian Greene: «Actualmente, os teóricos das cordas estão numa posição semelhante à falta do princípio da equivalência de Einstein". Desde a hipótese inteligente de Veneziano em 1968, a teoria tem sido completada, descoberta a descoberta, revolução a

revolução. Mas ainda lhe falta um princípio central organizador que abarque estas descobertas e todas as outras características da teoria num sistema abrangente e sistemático - um sistema que tome a existência de cada ingrediente absolutamente inevitável. A descoberta deste princípio constituiria um momento crucial no desenvolvimento da teoria de cordas e, provavelmente, explicaria o funcionamento da teoria com uma clareza nunca vista.»[32]

Também daria sentido aos milhares de soluções até agora encontradas para a teoria de cordas, que representam, cada uma delas, um Universo completamente autocoerente. No passado, pensou-se que, nesta floresta de soluções, apenas uma representaria a verdadeira solução da teoria de cordas. Hoje, a nossa opinião está a modificar-se. Até agora, não há maneira de seleccionar um Universo de entre os milhões que têm sido descobertos. Há uma corrente de opinião crescente que defende que, se não podemos encontrar a solução única da teoria de cordas,

provavelmente é porque não existe nenhuma. Todas as soluções são iguais. Há um multiverso de universos, e cada um deles é coerente com todas as leis da física, o que nos leva ao chamado princípio antrópico e à possibilidade da existência de um «Universo desenhado.»

CAPÍTULO OITO
Um Universo Desenhado?

Numerosos universos podem ter-se estragado e perdido ao longo de uma eternidade, antes de este sistema ter sido planeado muito

tra-balho per-dido, muitas tent-ativas in-úteis, e um aper-feiçoa-mento lento mas con-tínuo, desen-volvido dur-ante tem-pos infini-tos na arte de fazer

o
mundo.
David Rume

QUANDO ERA CRIANÇA e andava na segunda classe, a minha professora fez uma observação ocasional que eu nunca esqueci. Ela disse:«Deus amou tanto a Terra que a colocou à distância certa em relação ao Sol.» Como uma criança de seis anos, fiquei chocado com a simplicidade e a força deste argumento. Se Deus tivesse colocado a Terra demasiado longe do Sol, os oceanos teriam congelado. Se tivesse colocado a Terra demasiado perto do Sol, os oceanos ter-se-iam evaporado. Para a professora, isto não só comprovava a existência de Deus, como também significava que Ele foi benevolente e que gostava tanto da Terra que a colocou a uma distância correcta do Sol. Isto impressionou-me muito.

Hoje, os cientistas dizem que a Terra vive numa zona de «chave de ouro» do Sol, à distância suficiente para que a água líquida, o «solvente universal», possa existir para criar as substâncias químicas da vida. Se a Terra estivesse mais longe

do Sol, poderia, como aconteceu a Marte, transformar-se num «deserto gelado», onde as temperaturas teriam dado lugar a uma superficie deserta e estéril, onde a água e o dióxido de carbono se encontram muitas vezes no estado sólido, congelados. Imediatamente abaixo do solo de Marte encontramos uma camada permanente de água congelada.

Se a Terra estivesse mais perto do Sol, seria mais parecida com o planeta Vénus cujo tamanho é quase idêntico ao da Terra, mas que é conhecido por «planeta do efeito de estufa». Como Vénus está tão perto do Sol e a sua atmosfera é constituída por dióxido de carbono, a energia da luz do Sol é captada por Vénus e, por isso, as temperaturas chegam a atingir os 500 graus Celsius. Por isso, Vénus é o planeta mais quente, em média, do sistema solar. Com chuvas de ácido sulfúrico, pressões atmosféricas cem vezes maiores que as da Terra e temperaturas vulcânicas, Vénus é talvez o planeta mais infernal do

nosso sistema, sobretudo porque está mais perto do Sol do que a Terra.

Analisando o argumento da minha professora, os cientistas diriam que a sua afirmação é um exemplo do princípio antrópico, que diz que as leis da natureza estão concebidas de maneira a possibilitarem a vida e a consciência. Se estas leis são produto de algum grande arquitecto ou se são puro acidente tem sido objecto de muitos debates, em particular nos últimos anos, devido ao número esmagador de «acidentes» ou coincidências que têm sido encontradas e que tomam possíveis a vida e a consciência. Para alguns, isto é prova da existência de uma divindade que, deliberadamente, dispôs as leis da natureza de modo a tomar possível a vida e a nossa existência. Mas, para outros cientistas, isto significa que somos um subproduto de uma série de acidentes felizes. Ou talvez, se acreditarmos nas ramificações da inflação e da teoria M, haja um multiverso de universos.

Para apreciar a complexidade destes argumentos, consideremos primeiro as coincidências que tomam possível a vida na Terra. Nós não só vivemos exactamente na zona de «chave de ouro» do Sol, como também vivemos numa série de outras zonas de «chave de ouro». Por exemplo, a nossa Lua tem o tamanho certo para estabilizar a órbita da Terra. Se a Lua fosse muito mais pequena, as mais pequenas perturbações da rotação da Terra acumular-se-iam lentamente ao longo de centenas de milhões de anos, fazendo com que a Terra oscilasse desastrosamente e registasse alterações tão drásticas no clima que a vida seria impossível. Os programas de computador mostram que, sem uma Lua grande (de cerca de um terço do tamanho da Terra), o eixo da Terra talvez se desviasse 90 graus ao longo de um período de muitos milhões de anos. Uma vez que os cientistas acreditam que a criação de ADN requer centenas de milhões de anos de estabilidade climática, uma Terra que periodicamente se inclinasse sobre o seu eixo sofreria alterações

climáticas catastróficas, que tomariam impossível a criação de ADN. Felizmente, a nossa Lua tem «exactamente» o tamanho que permite estabilizar a órbita da Terra, pelo que esse desastre nunca acontecerá. (As luas de Marte não são suficientemente grandes para estabilizar a rotação desse planeta. Consequentemente, Marte está a começar a entrar pouco a pouco noutra era de instabilidade. No passado, segundo os astrónomos, o eixo de Marte deve ter declinado cerca de 45 graus.)

Devido às pequenas forças das marés, a Lua também se afasta da Terra à taxa de 4 centímetros por ano, aproximadamente; em cerca de dois mil milhões de anos, estará demasiado longe para estabilizar a rotação da Terra. Isto poderia ser desastroso para a vida na Terra. Daqui a milhares de milhões de anos, não só o céu noctumo não terá Lua, como poderemos ver um conjunto completamente diferente de constelações, à medida que a Terra gira na sua órbita. As condições

atmosféricas na Terra serão irreconhecíveis, e a vida será impossível.

O geólogo Peter Ward e o astrónomo Donald Brownlee, da Universidade de Washington, escreveram: «Sem a Lua não haveria luar, nem meses, nem lunáticos, nem o programa Apolo; haveria menos poesia e viveríamos num mundo cujas noites seriam escuras e tristes. Sem a Lua também é provável que não houvesse na Terra nem pássaros, nem sequóias, nem baleias, nem trilobites ou qualquer outra forma de vida avançada.»[1]

De modo análogo, os modelos de computador do sistema solar mostram que a presença do planeta Júpiter nesse sistema é favorável à vida na Terra, porque a sua enorme gravidade ajuda a arremessar os asteróides para o espaço exterior. Foram precisos quase mil milhões de anos, durante a «idade dos meteoros», que se prolongou de 3,5 a 4,5 mil milhões de anos, para «limpam o nosso sistema dos destroços de asteróides e cometas deixados desde a sua criação. Se Júpiter

fosse muito menor e a sua gravidade fosse muito menor, o sistema solar ainda estaria cheio de asteróides, o que tomaria impossível a vida na Terra; os asteróides mergulhariam nos nossos oceanos e destruiriam a vida. Por conseguinte, Júpiter também tem o tamanho certo.

Nós também vivemos na zona de «chave de ouro» das massas planetárias. Se a Terra fosse um pouco mais pequena, a sua gravidade seria tão fraca que não poderia manter o oxigénio na atmosfera. Se fosse demasiado grande, conservaria muitos dos seus gases primordiais, venenosos, que tomariam a vida impossível. A Terra tem «O peso certo» para manter uma composição atmosférica benéfica à vida.

Também vivemos na zona de «chave de ouro» das órbitas planetárias possíveis. Curiosamente, as órbitas dos outros planetas, excepto Plutão, são todas aproximadamente circulares, o que significa que os impactos planetários são muito raros no sistema solar. Isto significa que a Terra não se aproximará de quaisquer gigantes de

gás, cuja gravidade facilmente poderia perturbar a órbita da Terra. Isto também é bom para a vida, que requer centenas de milhões de anos de estabilidade.

De modo idêntico, a Terra também existe dentro da zona de «chave de ouro» da Via Láctea, a cerca de dois terços do seu centro. Se o sistema solar estivesse demasiado perto do centro galáctico, onde se esconde um buraco negro, o campo de radiação seria tão intenso que a vida seria impossível. E se o sistema solar estivesse demasiado afastado, não haveria elementos de maior número atómico suficientes para criar os ingredientes necessários à vida.

Os cientistas podem apresentar numerosos exemplos para mostrar que a Terra se situa dentro de miríades de zonas de «chave de ouro». Os astrónomos Ward e Brownlee argumentam que vivemos dentro de tantas bandas estreitas ou zonas de «chave de ouro» que talvez a vida inteligente na Terra seja única na Galáxia, e talvez mesmo em todo o Universo. Inventariam uma

notável lista de razões para a Terra ter «apenas a quantidade certa» de oceanos, de placas tectónicas, de conteúdo de oxigénio e de energia, de inclinação do seu eixo, e assim por diante, que permitem a criação de vida inteligente. Se a Terra estivesse fora de uma só destas bandas estreitas, não estaríamos sequer aqui a discutir esta questão.

Foi a Terra colocada no meio de todas estas zonas, porque Deus a amava? Talvez. Nós podemos, contudo, chegar a uma conclusão que não assenta na existência de uma divindade. Talvez haja milhões de planetas mortos no espaço que estão demasiado perto do seu sol, cujas luas são demasiado pequenas, cujos planetas Júpiter são demasiado pequenos ou que estão muito próximos do seu centro galáctico. A existência de zonas de «chave de ouro» relativas à Terra não significa necessariamente que Deus nos tenha conferido uma bênção especial; pode não ser senão uma coincidência, um exemplo raro entre

milhões de planetas mortos no espaço que ficam fora das zonas de «chave de ouro».

O filósofo grego Demócrito, que formulou a hipótese da existência de átomos, escreveu: «Há mundos infinitos em número e diferentes em tamanho. Nalguns deles não há sol nem lua. Noutros, há mais do que um sol e uma lua. A distância entre os mundos é diferente, nalgumas direcções há mais ... A sua destruição decorre de colisões de uns com os outros. Alguns mundos são destituídos de vida animal e vegetal e de qualquer humidade.»[2]

De facto, em 2002, os astrónomos descobriram uma centena de planetas extra-solares que orbitavam outras estrelas. Os planetas extrasolares estão a ser descobertos à taxa aproximada de um em cada quinze dias. Uma vez que os planetas extra-solares não emitem nenhuma luz, os astrónomos identificam-nos através de vários meios indirectos. A maneira mais fiável consiste em observar a oscilação da estrela mãe, que se move para trás e para a frente, enquanto os seus

planetas do tamanho de Júpiter orbitam à sua volta. Analisando o desvio de Doppler da luz emitida pela estrela que oscila, podemos calcular a velocidade do seu movimento e, através das leis de Newton, podemos calcular a massa do seu planeta.

«Podemos pensar na estrela e no grande planeta como pares que dançam, rodopiando, segurando as mãos estendidas. O elemento mais pequeno do par, que está do lado exterior, percorre distâncias maiores num círculo mais largo, ao passo que o elemento maior do par, que está no interior, apenas rodopia num círculo muito pequeno -o movimento em volta do círculo interior muito pequeno representa a 'oscilação' que vemos nestas estrelas»[3], diz Chris McCarthy, do Carnegie Institution. Este processo é agora tão preciso que podemos detectar pequenas variações de velocidade de 3 metros por segundo (a velocidade de passo largo) numa estrela a centenas de anos-luz de distância.

Outros métodos mais engenhosos estão a ser propostos para encontrar mais planetas. Um deles consiste em procurar um planeta que eclipsa a estrela mãe, o que produz uma ligeira diminuição do seu brilho, quando o planeta passa em frente da estrela. E dentro de quinze a vinte anos, a NASA porá em órbita o seu satélite de interferometria, que será capaz de encontrar no espaço exterior planetas semelhantes à Terra ainda menores. (Como o brilho da estrela mãe domina o planeta, este satélite usará interferência de luz para anular o halo intenso da estrela mãe, permitindo ver o planeta semelhante à Terra.)

Até agora, nenhum dos planetas extra-solares do tamanho de Júpiter que descobrimos se parece com a nossa Terra e, provavelmente, todos eles estão mortos. Os astrónomos descobriram-nos em órbitas altamente excêntricas ou em órbitas extremamente próximas da sua estrela mãe; em qualquer dos casos, um planeta semelhante à Terra dentro de uma zona de «chave de ouro» seria impossível. Nestes sistemas solares, o

planeta do tamanho de Júpiter atravessaria a zona de «chave de ouro» e arremessaria qualquer planeta pequeno do tamanho da Terra para o espaço exterior, impedindo que se formasse a vida, tal como a conhecemos.

Órbitas muito excêntricas são comuns no espaço - tão comuns, de facto, que a descoberta de um sistema solar «normal» no espaço foi notícia em 2003. Astrónomos nos Estados Unidos e na Austrália anunciaram também a descoberta de um planeta do tamanho de Júpiter orbitando a estrela HD 70642. O mais invulgar neste planeta (com cerca de duas vezes o tamanho do nosso Júpiter) era o facto de a sua órbita circular, estar aproximadamente na mesma proporção em que Júpiter está para o nosso Sol.[4]

Contudo, no futuro, os astrónomos serão capazes de catalogar todas as estrelas próximas que estejam no centro de potenciais sistemas solares. «Estamos a trabalhar para colocar sob observação todas as 2000 estrelas mais próximas semelhantes ao Sol, todas as estrelas semelhantes

ao Sol a 150 anos-luz de distância»[5], diz Paul Butler do Carnegie Institution de Washington, que esteve envolvido na primeira descoberta de um planeta extra-solar, em 1995. «O nosso objectivo é duplo -permitir um reconhecimento -um primeiro recenseamento-dos nossos vizinhos espaciais mais próximos, e fornecer os primeiros dados para colocar a questão fundamental: quão comum ou quão raro é o nosso sistema solam, diz ele.

ACIDENTES CÓSMICOS

Para criar vida, o nosso planeta deve ter sido relativamente estável durante centenas de milhões de anos. Mas é espantosamente dificil fazer um mundo que seja estável durante centenas de milhões de anos.

Comecemos pelo modo como são feitos os átomos, pelo facto de um protão pesar um pouco menos do que um neutrão. Isto significa que os neutrões acabam por decair em protões, que ocupam um estado de energia mais baixo. Se o

protão fosse apenas um por cento mais pesado, decairia num neutrão e todos os núcleos se tornariam instáveis e desintegrar-se-iam. Os átomos separar-se-iam, tornando a vida impossível.

Outro acidente cósmico que toma a vida possível é que o protão é estável e não decai num positrão. Experiências mostraram que o tempo de vida do protão é verdadeiramente astronómico, muito mais longa do que o tempo de vida do Universo. Para criar ADN estável, os protões têm de ser estáveis pelo menos durante centenas de milhões de anos.

Se a força nuclear forte fosse um pouco mais fraca, os núcleos como o deutério separar-se-iam e nenhum dos elementos do Universo poderia ter sido sucessivamente construído no interior de estrelas através da nucleossíntese. Se a força nuclear fosse um pouco mais forte, as estrelas consumiriam a sua reserva de combustível nuclear muito rapidamente e a vida não poderia evoluir.

Se variarmos a intensidade da força fraca, também descobrimos que a vida, mais uma vez,

seria impossível. Os neutrinos, que actuam através da força nuclear fraca, são cruciais para transportar para o exterior a energia de uma supemova que explode. Esta energia, por sua vez, é responsável pela criação dos elementos mais pesados do que o ferro. Se a força fraca fosse um pouco mais fraca, os neutrinos dificilmente interagiriam, o que significa que as supemovas não podiam criar os elementos mais pesados do que o ferro. Se a força fraca fosse um pouco mais forte, os neutrinos não poderiam escapar do núcleo de uma estrela, o que, mais uma vez, impediria a criação dos elementos de número atómico mais elevado que constituem o nosso corpo e o nosso mundo.

Os cientistas têm, de facto, reunido longas listas desses «felizes acidentes cósmicos». Perante essas impressionantes listas, é surpreendente descobrir quantas das constantes mais comuns do Universo se encontram na faixa muito estreita que toma a vida possível. Se um único desses acidentes fosse alterado, o Universo desintegrar-

se-ia, as estrelas nunca se formariam, a Terra desapareceria ou congelaria, o ADN não existiria, e a vida, tal como a conhecemos, seria impossível, e assim por diante.

O astrónomo Hugh Ross, para salientar quão verdadeiramente notável é esta situação, comparou o Universo a um Boeing 747 que fosse completamente montado na sequência de um toorado que tivesse atingido um armazém.

O PRINCÍPIO ANTRÓPICO

Mais uma vez, todos os argumentos atrás apresentados resultam do princípio antrópico. São vários os pontos de vista que podemos adoptar de acordo com este controverso princípio. A minha professora da segunda classe sentia que estas coincidências felizes implicavam a existência de um grande desígnio ou plano. Como o físico Freeman Dyson disse: «É como se o Universo soubesse que nós íamos aparecer.» Isto é um exemplo do princípio antrópico forte, a ideia de que a sintonização perfeita das constantes físicas não era um acidente, mas que implicava um qualquer

desígnio. (O princípio antrópico fraco diz simplesmente que as constantes físicas do Universo são tais que tornam possíveis a vida e a consciência).

O físico Don Page resumiu as várias formas do princípio antrópico que têm sido propostas ao longo dos anos:[6]

> *princípio antrópico fraco: «O que observamos do Universo é restringido pela exigência da nossa existência como observadores.»*
>
> *princípio antrópico forte-fraco: «Em pelo menos um mundo ... do Universo de muitos mundos, a vida tem de se desenvolver.»*
>
> *princípio antrópico forte: «O Universo deve ter as propriedades para que a vida se desenvolva nele num determinado momento.»*
>
> *princípio antrópico final: «A inteligência tem de se desenvolver no Universo e não deve nunca extinguir-se.»*

Uma física que toma a sério o princípio antrópico forte e que entende que ele é uma manifestação de Deus é Vera Kistiakowsky, do MIT. Diz ela: «A ordem extraordinária exibida pela nossa compreensão científica do mundo físico exige o divino.»[7] Um cientista que secunda esta opinião é John Polkinghorne, físico de partículas que abandonou o seu lugar em Cambridge e se tornou pastor da Igreja de Inglaterra. Escreve ele que o Universo «não é apenas 'um velho mundo qualquer ', mas um lugar especial e perfeitamente sintonizado para a vida, porque é a obra de um Criador que quer que ele seja assim.»[8] Na verdade, o próprio Isaac Newton, que introduziu o conceito de leis imutáveis que regiam os planetas e as estrelas sem intervenção divina, acreditava que a elegância destas leis reforçava a existência de Deus.

Mas Steven Weinberg, físico premiado com o Nobel, não está nada convencido disso. Ele reconhece o apelo do princípio antrópico. «É quase

irresistível para os humanos acreditarem que temos alguma relação especial com o Universo, que a vida humana não é apenas uma consequência mais ou menos ridícula de uma cadeia de acidentes que remontam aos primeiros três minutos, mas que, de algum modo, nós fomos construídos a partir de um princípio»[9] Contudo, ele conclui que o princípio antrópico forte é «pouco mais que uma charada mística.»

Também outros acreditam pouco no poder do princípio antrópico. O físico Heinz Pagels, já falecido, ficou impressionado com o princípio antrópico, mas acabou por se desinteressar por ele não ter poder preditivo. A teoria não é testável, nem há qualquer maneira de extrair dela informação nova. Pelo contrário, sustenta uma cadeia infinita de tautologias vazias -estamos aqui, porque estamos aqui.

Guth também menospreza o princípio antrópico, dizendo: «Acho dificil acreditar que alguém use o princípio antrópico, se tiver uma explicação melhor para alguma coisa. Tenho ainda

de ouvir falar, por exemplo, de um princípio antrópico da história do mundo ... O princípio antrópico é algo que as pessoas fazem, quando não conseguem pensar numa coisa melhor para fazer.»[10]

MULTIVERSO

Outros cientistas, como Sir Martin Rees, da Universidade de Cambridge, pensam que estes acidentes cósmicos fornecem provas da existência do multiverso. Rees acredita que a única maneira de resolver o facto de vivermos dentro de uma incrível banda de centenas de «coincidências» é requerer a existência de milhões de universos paralelos. Neste multiverso de universos, a maior parte deles estão mortos. O protão não é estável. Os átomos não se condensam. O ADN não se forma. O Universo colapsa prematuramente ou congela quase imediatamente. Mas no nosso Universo, muitos acidentes cósmicos aconteceram não necessariamente devido à mão de Deus, mas devido à lei da média.

Em certo sentido, Sir Martin Rees é a última pessoa de quem se esperaria que avançasse com a ideia de universos paralelos. Ele é o astrónomo real da Inglaterra e tem a grande responsabilidade de representar a opinião oficial relativamente ao Universo. De cabelos prateados, distinto, impecavelmente vestido, Rees fala com igual fluência das maravilhas do cosmos como das preocupações do público em geral.

Não é por acidente que o Universo, acredita ele, está perfeitamente sintonizado para permitir a existência de vida. Há simplesmente demasiados acidentes para se existir numa banda tão estreita que possibilita a vida. «A aparente sintonização perfeita de que depende a nossa existência podia ser uma coincidência»,[11] diz Rees. «Outrora era assim que eu pensava. Mas essa perspectiva parece-me agora demasiado restrita ... Uma vez aceite esta ideia, várias características aparentemente especiais do nosso Universo - aquelas que alguns teólogos outrora aduziram

como prova da Providência -não dão lugar a surpresas.»

Rees tentou dar substância aos seus argumentos quantificando alguns destes conceitos. Defende ele que o Universo parece ser governado por seis números, cada um dos quais é mensurável e perfeitamente sintonizado. Estes seis números têm de satisfazer as condições para a vida, senão criam-se universos mortos.

Em primeiro lugar, temos ?, que é igual a 0,007, que é a quantidade relativa de hidrogénio que se converte em hélio através da fusão no big bang. Se este número fosse de 0,006 em vez de 0,007, a força nuclear enfraqueceria e os protões e neutrões não permaneceriam coesos. O deutério (com um protão e um neutrão) não se poderia formar, pelo que os elementos mais pesados nunca teriam sido criados nas estrelas, os átomos do nosso corpo não se poderiam ter formado e todo o Universo se dissolveria em hidrogénio. Mesmo uma pequena redução da força nuclear originaria instabilidade na tabela periódica e

haveria menos elementos estáveis a partir dos quais se poderia criar vida.

Se e fosse 0,008, então a fusão teria sido tão rápida que nenhum hidrogénio teria sobrevivido ao big bang e hoje não haveria estrelas que fornecessem energia aos planetas. Ou talvez dois protões se tivessem juntado tomando também impossível a fusão nas estrelas. Rees sublinha[12] o facto de Fred Hoyle ter descoberto que mesmo um desvio tão pequeno como 4% da força nuclear teria tomado impossível a formação do carbono nas estrelas, o que faria com que os elementos com um número atómico maior e a vida fossem impossíveis. Hoyle descobriu que, se se alterasse ligeiramente a força nuclear, então o berílio seria tão instável que nunca poderia ser uma «ponte» para que os átomos de carbono se formassem.

Em segundo lugar, temos $N = 10^{36}$, que é a intensidade da força eléctrica a dividir pela intensidade da gravidade, que mostra quão fraca é a gravidade. Se a gravidade fosse ainda mais fraca,

então as estrelas não poderiam condensar-se e produzir as enormes temperaturas necessárias para a fusão. Por conseguinte, as estrelas não brilhariam, e os planetas mergulhariam numa fria escuridão.

Mas se a gravidade fosse um pouco mais forte, as estrelas aqueceriam demasiado depressa e consumiriam a sua reserva de combustível tão rapidamente que a vida não poderia ter começado. Por outro lado, uma gravidade mais forte significaria que as galáxias se formariam mais cedo e seriam muito pequenas. As estrelas estariam mais densamente aglomeradas, o que provocaria desastrosas colisões entre um conjunto de estrelas e planetas.

Em terceiro lugar, temos Ω, a densidade relativa do Universo. Se Ω fosse demasiado pequeno, então o Universo ter-se-ia expandido e arrefecido demasiado depressa. Mas se Ω fosse muito grande, então o Universo teria colapsado antes de a vida ter começado. Rees escreve: «Um segundo após o big bang, Ω não poderia ter

diferido da unidade por mais de uma parte em mil biliões (um em 10^{15}) de modo que o Universo estaria agora, passados dez mil milhões de anos, ainda em expansão e com um valor de **Ω** que certamente não começou na unidade.»[13]

Em quarto lugar, temos ?, a constante cosmológica, que determina a aceleração do Universo. Se fosse apenas algumas vezes maior, a antigravidade atiraria o Universo para longe provocando um bigfreeze imediato, que tomaria a vida impossível. Mas, se a constante cosmológica fosse negativa, o Universo ter-se-ia contraído violentamente num big crunch demasiado cedo para que a vida se formasse. Por outras palavras, a constante cosmológica, tal como **Ω**,também tem de estar dentro de uma certa banda estreita para possibilitar a vida.

Em quinto lugar, temos Q, a amplitude das irregularidades no fundo cósmico de micro-ondas, que é igual a 10^{-5}. Se este número fosse um pouco mais pequeno, então o Universo seria extremamente uniforme, uma massa de gás e de

poeira sem vida, que nunca se condensaria nas estrelas e nas galáxias de hoje. Seria escuro, uniforme, desprovido de características e de vida. Se Q fosse maior, então a matéria ter-se-ia condensado mais cedo na história do Universo em enormes estruturas supergalácticas. Estes «grandes bocados de matéria ter-se-iam condensado em gigantescos buracos negros»,[14] diz Rees. Tais buracos negros seriam mais pesados do que um aglomerado de galáxias. As estrelas que se formassem nestes enormes aglomerados de gás estariam tão frouxamente ligadas que os sistemas planetários seriam impossíveis.

Finalmente, temos D, o número de dimensões espaciais. Devido ao interesse pela teoria M, os físicos voltaram à questão de saber se a vida é possível em dimensões maiores ou menores. Se o espaço é unidimensional, então provavelmente a vida não pode existir, porque o Universo é trivial. Geralmente, quando os físicos tentam aplicar a teoria quântica a universos unidimensionais, verificam que as partículas passam umas através das

outras, sem interagir. Assim, é possível que os universos que existem numa dimensão não possam servir para a vida, porque as partículas não podem «colar-se» umas às outras, para formar objectos cada vez mais complexos.

Em espaços de duas dimensões, também há um problema, porque as formas de vida provavelmente se desintegrariam. Imagine uma corrida bidimensional de seres planos chamados flatlanders (habitantes de *Flatland*), que vivem na superficie de uma mesa. Imagine que tentam comer. A passagem que se estende da sua boca até ao traseiro dividiria o flatlander ao meio e ele desfazer-se-ia. Assim, é dificil imaginar como um flatlander pode existir como um ser complexo sem se desintegrar ou desfazer-se em pedaços.

Outro argumento proveniente da biologia indica que a inteligência não pode existir em menos de três dimensões O nosso cérebro consiste num grande número de neurónios sobrepostos conectados por uma vasta rede eléctrica. Se o Universo tivesse uma ou duas dimensões, seria

dificil construir redes neuronais complexas, especialmente se provocassem curto-circuito quando eram colocadas em cima umas das outras. Em dimensões inferiores, estamos severamente limitados pelo número de circuitos lógicos complexos e de neurónios que podemos colocar numa pequena área. O nosso cérebro, por exemplo, consiste em cerca de 100 mil milhões de neurónios, aproximadamente o número de estrelas da Via Láctea, e cada neurónio está conectado com cerca de 10.000 neurónios. Tal complexidade seria dificil de duplicar em dimensões inferiores.

Em quatro dimensões espaciais, surge um outro problema: os planetas não são estáveis nas suas órbitas em tomo do Sol. A lei do inverso do quadrado de Newton é substituída por uma lei do inverso do cubo e, em 1917, Paul Ehrenfest, um colega de Einstein, especulou sobre o que seria a Física noutras dimensões. Analisou aquilo a que se chama a equação de Poisson-Laplace (que rege o movimento dos objectos planetários bem

como as cargas eléctricas dos átomos) e descobriu que as órbitas não são estáveis em quatro ou mais dimensões espaciais. Como os electrões nos átomos e os planetas experimentam colisões ocasionais, isto significa que os átomos e o sistema solar provavelmente não podem existir em dimensões superiores. Por outras palavras, três dimensões são especiais.

Para Rees, o princípio antrópico é um dos argumentos mais convincentes do multiverso. Do mesmo modo que a existência de zonas de «chave de ouro» para a Terra implica que há planetas extra-solares, a existência de zonas de «chave de ouro» para o Universo implica que há universos paralelos. Rees comenta: «Se houver uma grande quantidade de roupa, não admira que encontremos um fato que nos sirva. Se há muitos universos, cada um deles governado por um conjunto diferente de números, deve haver um onde haja um conjunto particular de números adequados à vida. É nesse que nós estamos.»[15] Por outras palavras, o nosso Universo é devido à lei da

média dos muitos universos no multiverso e não devido a um grande arquitecto.

Weinberg parece concordar com esta opinião. Weinberg, de facto, acha a ideia de um multiverso intelectualmente interessante. Nunca gostou da ideia de que o tempo pudesse ganhar subitamente existência no big bang e que o tempo não pudesse existir antes disso. Num multiverso, a criação de universos é eterna.

Há uma outra razão ardilosa que leva Rees a preferir a ideia do multiverso. O Universo, acha ele, contém uma pequena porção de «fealdade». Por exemplo, a órbita da Terra é ligeiramente elíptica. Se fosse perfeitamente esférica, então podíamos argumentar, como os teólogos têm feito, que era um subproduto da intervenção divina. Mas não é, o que revela uma certa quantidade de aleatoriedade dentro da estreita faixa da «chave de ouro». De modo análogo, a constante cosmológica não é perfeitamente zero, mas é pequena, o que indica que o nosso Universo «não é mais especial do que a nossa presença exige»

Tudo isto é consistente com a hipótese de o nosso Universo ter sido gerado aleatoriamente por acidente.

EVOLUÇÃO DE UNIVERSOS

Sendo mais um astrónomo do que um filósofo, Rees diz que o resultado final é que todas estas teorias têm de ser testáveis. De facto, esta é a razão que o leva a preferir a ideia do multiverso às teorias rivais, místicas. A teoria do multiverso, acredita ele, poderá ser testada nos próximos vinte anos.

Uma variante da ideia do multiverso já é testável hoje. O físico Lee Smolin vai ainda mais longe do que Rees e admite que se verificou uma «evolução» de universos análoga à evolução darwiniana que deu origem a universos como o nosso. Na teoria inflacionária caótica, por exemplo, as constantes físicas dos universos «filhos» têm constantes físicas ligeiramente diferentes das do Universo «mãe». Se os buracos negros podem originar universos, como alguns físicos acreditam, então os universos que dominam o

multiverso são aqueles que têm mais buracos negros. Isto significa que, tal como no reino animal, os universos que têm mais «filhos» acabam por propagar a sua «informação genética» - as constantes físicas da natureza. A ser verdade, talvez o nosso Universo tenha tido um número infinito de universos antepassados e o nosso Universo seja um subproduto de biliões de anos de selecção natural. Por outras palavras, o nosso Universo é o subproduto da sobrevivência do mais apto, o que significa que é o filho dos universos com maior número de buracos negros.

Embora uma evolução darwiniana de universos seja uma ideia estranha e original, Smolin acredita que pode ser testada pela simples contagem do número de buracos negros. O nosso Universo devia ser muito favorável à criação de buracos negros. (No entanto, ainda é preciso provar que os universos com o maior número de buracos negros são os que favorecem a vida, como acontece com o nosso.)

Como esta ideia é testável, podem ser considerados contra-exemplos. Por exemplo, talvez seja possível mostrar, ajustando hipoteticamente os parâmetros físicos do Universo, que os buracos negros se produzem mais rapidamente nos universos desprovidos de vida. Por exemplo, talvez seja possível mostrar que um Universo com uma força nuclear muito mais forte tem estrelas que consomem muito rapidamente o seu combustível, originando grande número de supernovas que colapsam em buracos negros. Num tal Universo, um valor maior da força nuclear significa que o tempo de duração das estrelas é curto e, assim, a vida não pode ter começado. Porém este Universo também podia ter mais buracos negros contrariando, assim, a ideia de Smolin. A vantagem desta ideia é que ela pode ser testada, reproduzida, ou falsificada (o selo de garantia de qualquer verdadeira teoria científica.) O tempo dirá se é válida ou não.

Embora qualquer teoria que envolva buracos de verme, supercordas e dimensões superiores

esteja para além da nossa actual capacidade experimental, estão agora em curso novas experiências e estão planeadas outras que podem determinar se estas teorias estão correctas ou não. Estamos a meio de uma revolução na ciência experimental, com o enorme poder dos satélites, dos telescópios espaciais, dos detectores de ondas de gravidade e dos lasers, que poderá esclarecer todas estas questões. É muito provável que os resultados destas experiências resolvam algumas das mais complexas questões da cosmologia.

CAPÍTULO NOVE

Em Busca de Ecos da Décima Primeira Dimensão

Hipóteses extraordinárias exigem provas extraordinárias.

Carl Sagan

UNIVERSOS PARALELOS, portais dimensionais e dimensões superiores, tão espectaculares como são, exigem provas incontestáveis da sua existência. Como o astrónomo Ken Croswell salienta: «Os outros universos podem ser emocionantes: podemos dizer deles o que quisermos e nunca se provar que estamos errados, na medida em que os astrónomos não os vêem.» 1

Antes, parecia não haver esperanças de testar muitas dessas previsões, em virtude do carácter rudimentar do nosso equipamento experimental. Contudo, os avanços recentes dos computadores, dos lasers e da tecnologia dos satélites fazem com que muitas dessas teorias estejam espantosamente perto de verificação experimental.

Sabe-se que a verificação directa destas ideias é muito dificil, mas a verificação indirecta pode estar ao nosso alcance. Muitas vezes, esquecemo-nos de que a maior parte da ciência astronómica é feita indirectamente. Por exemplo, ninguém visitou o Sol ou as estrelas e, no entanto, sabemos de que são feitas as estrelas analisando a luz emitida por esses objectos luminosos. A análise do espectro da luz das estrelas permite-nos saber indirectamente que as estrelas são feitas principalmente de hidrogénio e de algum hélio. De modo semelhante, nunca ninguém viu um buraco negro e, de facto, os buracos negros são invisíveis e não podem ser vistos directamente. Contudo, temos provas indirectas da sua existência, quando

observamos os discos de acreção e calculamos a massa destas estrelas mortas.

Em todas estas experiências, procuramos «ecos» das estrelas e dos buracos negros para determinar a sua natureza. De modo semelhante, a décima primeira dimensão pode estar para além do nosso alcance directo, mas há maneiras de verificar a inflação e a teoria das supercordas, à luz dos novos e revolucionários instrumentos de que dispomos.

GPS E RELATIVIDADE

O exemplo mais simples do modo como os satélites revolucionaram a investigação em relatividade é o Global Positioning System (GPS) que consiste em vinte e quatro satélites que orbitam continuamente a Terra, emitindo vibrações precisas e sincronizadas que permitem determinar por triangulação a posição de alguém no planeta, com uma precisão notável. O sistema GPS tomou-se uma característica essencial da navegação, do comércio e da guerra. Tudo, desde mapas computorizados dentro dos carros a mísseis

de cruzeiro, pode depender da capacidade de sincronizar sinais em 50 milésimos de milionésimo de segundo para localizar um objecto com um erro inferior a 15 metros, na Terra.[2] Mas para garantir uma precisão tão incrível, os cientistas têm de calcular ligeiras correcções às leis de Newton, devidas à relatividade, que diz que as ondas de rádio têm a sua frequência ligeiramente desviada quando os satélites orbitam no espaço exterior.[3] De facto, se cometermos o erro de suprimir as correcções devidas à relatividade, então os relógios GPS adiantar-se-ão 40.000 milésimos de milionésimo de segundo por dia e todo o sistema deixará de ser fiável. A teoria da relatividade é, assim, absolutamente essencial para o comércio e para o exército. O físico Clifford Will, que outrora instruiu a Força Aérea dos Estados Unidos acerca das correcções cruciais do sistema GPS, provenientes da teoria da relatividade de Einstein, comentou uma vez que sabia que a teoria da relatividade tinha atingido o seu auge

quando até os oficiais seniores do Pentágono tiveram de a aprender.

DETECTORES DE ONDAS DE GRAVIDADE

Até agora, quase tudo o que sabemos sobre Astronomia surgiu na forma de radiação electromagnética, quer seja a luz das estrelas ou os sinais de rádio ou de micro-ondas provenientes do espaço exterior. Agora os cientistas estão a introduzir o primeiro novo meio da descoberta científica, a própria gravidade. «Sempre que olhámos para o céu de uma maneira nova, vimos um Universo novo»,[4] diz Gary Sanders do Cal Tech e director do projecto de ondas de gravidade.

Foi Einstein o primeiro a propor, em 1916, a existência de ondas de gravidade. Consideremos o que aconteceria se o Sol desaparecesse. Recorde-se a analogia de uma bola de bowling que salta na rede de um trampolim. Se a bola for subitamente removida, a rede do trampolim

voltará imediatamente à sua forma primitiva, originando ondas de choque que ondulam para o exterior ao longo da rede. Se substituirmos a bola de bowling pelo Sol, verificamos que as ondas de choque de gravidade se propagam a uma velocidade específica, a velocidade da luz.

Embora Einstein tenha encontrado mais tarde uma solução exacta das suas equações que permitia ondas de gravidade, perdeu a esperança de ver a sua previsão verificada durante a sua vida. As ondas de gravidade são extremamente fracas. Mesmo as ondas de choque das estrelas que colidem não são suficientemente fortes para serem medidas pelas experiências actuais.

No presente, as ondas de gravidade apenas foram detectadas indirectamente. Dois físicos, Russell Hulse e Joseph Taylor, Jr., puseram a hipótese de que, se analisarmos as estrelas de neutrões binárias giratórias que se atraem uma à outra no espaço, verificaremos que cada estrela emitirá um fluxo de ondas de gravidade, semelhantes ao rasto do melaço que escorre, quando as

suas órbitas decaem lentamente. Analisaram a espiral de morte de duas estrelas de neutrões quando espiralavam ligeiramente uma na direcção da outra. O alvo da sua investigação era a estrela de neutrões dupla PSR 1913+ 16, situada a cerca de 16 000 anos-luz da Terra, cujas estrelas orbitam em tomo uma da outra de 7 em 7 horas e 45 minutos, emitindo ondas de gravidade para o espaço exterior.

Recorrendo à teoria de Einstein, descobriram que as duas estrelas se aproximariam um milímetro em cada revolução. Embora esta seja uma distância fantasticamente pequena, aumenta para um metro ao fim de um ano, quando a órbita de 700 000 quilómetros diminui lentamente de tamanho. O seu trabalho pioneiro mostrou que a órbita decaía exactamente como a teoria de Einstein previa na base de ondas de gravidade. (De facto, as equações de Einstein previam que as estrelas acabariam por colidir uma com a outra ao fim de 240 milhões de anos, devido à perda de energia irradiada para o espaço na forma de

ondas de gravidade). O seu trabalho foi premiado com o Nobel da Física em 1993.[5]

Também podemos recuar e usar esta experiência de precisão para medir a precisão da própria relatividade geral. Quando os cálculos são efectuados retroactivamente, verificamos que a relatividade geral tem uma precisão de, pelo menos, 99,7%.

O DETECTOR DE ONDAS DE GRAVIDADE LIGO

No entanto, para extrair informação útil acerca do Universo primitivo, é preciso observar directamente as ondas de gravidade. Em 2003, o primeiro detector operacional de ondas de gravidade, o LIGO (Laser Interferometer Gravitational -Wave Observatory) começou finalmente a funcionar realizando um velho sonho de décadas: sondar os mistérios do Universo com ondas de gravidade. O objectivo do LIGO é detectar eventos cósmicos que estão demasiado distantes ou que são muito pequenos para serem observados

por telescópios situados na Terra, tal como colisões de buracos negros ou estrelas de neutrões.

O LIGO consiste em duas unidades gigantescas de laser, uma em Hanford, em Washington, e a outra em Livingston Parish, na Louisiana. Cada unidade tem dois tubos, cada um deles com 4 quilómetros de comprimento, que formam um tubo gigantesco em forma de L. É disparado um laser para o interior de cada tubo. Na junção do L, os dois feixes de laser colidem e as suas ondas interferem uma com a outra. Normalmente, se não houver perturbações, as duas ondas são sincronizadas e anulam-se uma à outra. Mas, quando a mais pequena onda de gravidade emitida por buracos negros ou por estrelas de neutrões atinge o dispositivo, um braço contrai-se e expande-se de maneira diferente do outro. Esta perturbação é suficiente para alterar a delicada interferência dos dois feixes de laser. Consequentemente, os dois feixes, em vez de se anularem um ao outro, criam um padrão de interferência característico, semelhante a uma onda, que

pode ser analisada em pormenor num computador. Quanto maior for a onda de gravidade, maior será o desencontro entre os dois feixes de laser e maior será o padrão de interferência.

O LIGO é um prodígio da engenharia. Como as moléculas de ar podem absorver a luz do laser, o tubo que contém a luz tem de ser evacuado até atingir um trilionésimo do valor da pressão atmosférica. Cada detector comporta 8.100 m3, o que significa que o LIGO tem o maior vácuo artificial do mundo. O que dá ao LIGO tal sensibilidade é, em parte, a concepção dos espelhos, que são controlados por pequenos ímanes, seis ao todo, cada um do tamanho de uma formiga. Os espelhos estão tão polidos que a sua precisão é de uma parte num 1 milésimo de milionésimo de metro. «Imaginemos que a Terra era assim tão plana. Então, a altura média de uma montanha não seria superior a uma polegada»,[6] diz GariLynn Billingsley, que é responsável pelos espelhos. São tão delicados que podem ser movidos por menos de um milionésimo de metro, o que

faz com que os espelhos do LIGO sejam talvez os mais sensíveis do mundo. «Os queixos da maior parte dos engenheiros de controlo de sistemas caem quando ouvem falar do que estamos a tentar fazern,[7] diz o cientista do LIGO Michael Zucker.

Como o equilíbrio do LIGO é tão delicado, pode, por vezes, ser perturbado por vibrações ligeiras e involuntárias provenientes das fontes mais improváveis. O detector da Louisiana, por exemplo, não pode funcionar durante o dia devido aos madeireiros que estão a cortar árvores a 4 metros de distância. (O LIGO é tão sensível que, mesmo que os madeireiros estivessem a trabalhar a uma milha de distância, não podia funcionar durante o dia.) Mesmo à noite, as vibrações provenientes dos comboios de mercadorias à meia-noite e às 6 da manhã determinam quanto tempo pode o LIGO operar continuamente.

Até mesmo uma coisa tão fraca como as ondas que se quebram na linha da costa a

quilómetros de distância podem afectar os resultados. As ondas do oceano que se quebram nas praias da América do Norte desembocam na praia de seis em seis segundos, em média, o que produz um ruído baixo que pode ser captado pelos lasers. O barulho tem, de facto, uma frequência tão baixa que penetra na terra. «Parece o ribombar de um trovão»,[8] diz Zucker, comentando este ruído das marés. «É uma enorme dor de cabeça na Louisiana durante a estação de furacões.» O LIGO também é afectado pelas marés provocadas pela gravidade do Sol e da Lua que afectam a Terra, criando uma perturbação de vários milionésimos de centímetros.

Para eliminar estas perturbações incrivelmente pequenas, os engenheiros do LIGO chegaram a comprimentos extraordinários para isolar a maior parte do aparelho. Cada sistema de laser assenta sobre quatro enormes plataformas de aço inoxidável, empilhadas umas sobre as outras; os níveis são separados uns dos outros por molas, para amortecer qualquer vibração. Os

instrumentos ópticos sensíveis têm cada um o seu próprio sistema de isolamento sísmico;[9] a base é uma placa de cimento de 30 polegadas de espessura que não está ligada às paredes. O LIGO actualmente faz parte de um consórcio internacional, incluindo o detector franco-italiano VIRGO, em Pisa, na Itália, um detector japonês chamado TAMA, perto de Tóquio, e um detector anglo-germânico chamado GE0600, em Hanover, na Alemanha. No conjunto, a construção do LIGO custará 292 milhões de dólares (mais 80 milhões para licenças e actualizações) o que faz dele o projecto mais dispendioso financiado pela Fundação Nacional de Ciência.[10]

Mas, apesar desta sensibilidade, muitos cientistas reconhecem que o LIGO pode não ser suficientemente sensível para detectar eventos verdadeiramente interessantes durante a sua vida. A próxima actualização da unidade, o LIGO II, está calendarizada para 2007, se o financiamento for garantido. Se o LIGO não detectar ondas de gravidade, a aposta é que o LIGO II detectará. O

cientista do LIGO Kenneth Libbrecht acha que o LIGO II tomará a sensibilidade do equipamento mil vezes mais perfeita: «De um evento de dez em dez anos, o que é muito penoso, passará a detectar um evento de três em três dias, o que é muito bom.»[11]

Para o LIGO detectar a colisão de dois buracos negros (a uma distância de 300 milhões de anos-luz), um cientista podia ter de esperar entre um e mil anos. Muitos astrónomos podem ter segundas intenções acerca da investigação de um evento com o LIGO, se isso significar que os netos dos seus netos dos seus netos serão os únicos a presenciar o evento. Mas, como afirmou o cientista do LIGO Peter Saulson, «as pessoas gostam de resolver estes desafios técnicos à maneira dos construtores de catedrais medievais que continuavam a trabalhar, mesmo sabendo que podiam não ver a sua igreja acabada. Mas se não fosse o desafio de haver uma oportunidade de ver uma onda de gravidade durante a minha vida, não estaria neste campo. Não é a febre do

Prémio Nobel... Os níveis de precisão que procuramos são decisivos; se o fizermos, teremos o 'material certo'»[12] Com o LIGO II as oportunidades de encontrar um evento verdadeiramente interessante durante a nossa vida são muito melhores.[13] O LIGO II pode detectar buracos negros que colidem a uma distância muito superior a 6 mil milhões de anos-luz a uma taxa de dez por dia a dez por ano.

Contudo, o LIGO II também não será suficientemente poderoso para detectar ondas de gravidade emitidas desde o instante da criação. Para isso, teremos de esperar mais quinze a vinte anos pelo LISA.

O DETECTOR DE ONDAS DE GRAVIDADE LISA

O LISA (Laser Interferometer Space Antenna) representa a geração seguinte dos detectores de ondas de gravidade. Ao contrário do LIGO, estará localizado no espaço exterior. Por volta de 2010, a NASA e a Agência Espacial

Europeia planeiam lançar três satélites para o espaço; orbitarão em tomo do Sol a cerca de 30 milhões de milhas da Terra. Os três detectores de laser formarão um triângulo equilátero no espaço com 5 milhões de quilómetros de lado. Cada satélite terá dois lasers que lhe permitem estar em contacto permanente com os outros dois satélites. Embora cada laser dispare um feixe apenas com meio watt de potência, a óptica é tão sensível que serão capazes de detectar vibrações provenientes das ondas de gravidade com uma precisão de uma parte em mil milhões de biliões (correspondente a um desvio que é a centésima parte da largura de um único átomo). O LISA será capaz de detectar ondas de gravidade a uma distância de 9 mil milhões de anos-luz, que atravessa a maior parte do Universo visível.

O LISA será tão preciso que poderá detectar as ondas de choque originais provenientes do próprio big bang. Isto dar-nos-á, sem dúvida, um olhar mais preciso do instante da criação. Se tudo acontecer de acordo com os planos,[14] o LISA

poderá perscrutar o primeiro bilionésimo de segundo após o big bang, tomando-se provavelmente no mais poderoso de todos os instrumentos cosmológicos. Acredita-se que o LISA pode descobrir os primeiros dados experimentais sobre a natureza precisa da teoria do campo unificado, a teoria de tudo.

Um importante objectivo do LISA é fornecer a «arma de fumo» da teoria inflacionária. Até agora, a inflação é consistente com todos os dados cosmológicos (o achatamento, as flutuações do fundo cósmico e outros). Mas tal não significa que a teoria esteja correcta. Para encerrar a teoria, os cientistas querem examinar as ondas de gravidade que foram causadas pelo próprio processo inflacionário. A «impressão digital» das ondas de gravidade criadas no instante do big bang deveria explicar a diferença entre a inflação e qualquer teoria rival. Alguns, como Kip Thome, do Cal Tech, acreditam que o LISA talvez seja capaz de dizer se alguma versão da teoria de cordas está correcta. Como expliquei no

capítulo 7, a teoria do Universo inflacionário prediz que as ondas de gravidade que emergem do big bang deveriam ser muito violentas, correspondendo à expansão rápida e exponencial do Universo primitivo, enquanto o modelo ecpirótico prediz uma expansão muito mais suave, acompanhada por ondas de gravidade muito mais regulares. O LISA será capaz de escolher entre várias teorias rivais do big bang e fazer um teste crucial da teoria de cordas.

LENTES E ANÉIS DE EINSTEIN

Um outro instrumento poderoso para explorar o cosmos são as lentes gravitacionais e os «anéis de Einstein». Já em 1801 o astrónomo berlinense Johan Georg von Soldner foi capaz de calcular a deflecção possível da luz das estrelas provocada pela gravidade do Sol (embora, uma vez que Soldner usou argumentos estritamente newtonianos, se afastasse por um factor crucial de 2. Einstein escreveu: «Metade desta deflexão é produzida pelo campo newtoniano de atracção do Sol e

a outra metade pela modificação geométrica [«curvatura»] do espaço causada pelo Sol.»)[15]

Em 1912, ainda antes de ter completado a versão final da relatividade geral, Einstein contemplou a possibilidade de usar esta deflexão como uma «lente», da mesma maneira que os nossos óculos inclinam a luz antes de ela chegar aos nossos olhos. Em 1936, um engenheiro checo, Rudi Mandl, escreveu a Einstein perguntando se uma lente de gravidade poderia aumentar a luz proveniente de uma estrela vizinha. A resposta foi afirmativa, mas estava para além da tecnologia da época detectar isto.

Em particular, Einstein compreendeu que veríamos ilusões ópticas como imagens duplas do mesmo objecto, ou uma distorção da luz semelhante a um anel. A luz proveniente de uma galáxia muito distante que passa perto do nosso Sol, por exemplo, viajaria tanto para a esquerda como para a direita do nosso Sol antes de os feixes se juntarem e chegarem aos nossos olhos. Quando observamos uma galáxia distante, vemos um

padrão semelhante a um anel, uma ilusão óptica causada pela relatividade geral. Einstein concluiu que «não havia muita esperança de observar directamente este fenómeno».[16] De facto, ele escreveu que este trabalho «é de pouco valor, mas tornou feliz o pobre fulano [Mandl]».

Cerca de quarenta anos depois, em 1979, a primeira prova parcial de lentes foi descoberta por Dennis Walsh, do Jordell Bank Observatory na Inglaterra, que descobriu o quasar duplo Q0957+56 l.17 Em 1988, foi observado o primeiro anel de Einstein proveniente da fonte de rádio MG 1131+0456. Em 1997, o telescópio espacial Hubble e a rede de radiotelescópios MERLIN do Reino Unido descobriram o primeiro anel de Einstein completamente circular, ao analisarem a galáxia distante 1938+666 apoiando, mais uma vez, a teoria de Einstein. (O anel é pequeno, apenas um segundo de arco, ou aproximadamente o tamanho de uma moeda vista a milhas de distância.) Os astrónomos descreveram a excitação que sentiram ao presenciar

este evento histórico: «À primeira vista, parecia artificial e pensámos que era algum defeito da imagem, mas depois compreendemos que estávamos a olhar para um anel de Einstein perfeito!» disse Ian Brown, da Universidade de Manchester. Hoje, os anéis de Einstein são uma arma essencial no arsenal dos astrofísicos[18]. Cerca de sessenta e quatro quasares duplos, triplos e múltiplos (ilusões causadas pelas lentes de Einstein) foram vistos no espaço exterior, ou seja, aproximadamente um em 500 quasares observados.

Mesmo as formas invisíveis da matéria, como a matéria negra, podem ser «vistas» analisando a distorção das ondas de luz que originam. Deste modo, é possível obter «mapas» que mostram a distribuição da matéria negra no Universo. Como as lentes de Einstein distorcem aglomerados galácticos criando grandes arcos (em vez de anéis), é possível avaliar a concentração de matéria negra nestes aglomerados. Em 1986, os primeiros arcos galácticos gigantes foram descobertos pelos astrónomos do National Optical Astronomy

Observatory, na Universidade de Stanford, e do Midi-Pyrenees Observatory, em França. Desde então, foi descoberta cerca de uma centena de arcos galácticos, o mais dramático no aglomerado galáctico Abell 2218.[19]

As lentes de Einstein também podem ser usadas como um método independente para medir a quantidade de MACHOs (que consistem em matéria ordinária como estrelas mortas, anãs castanhas e nuvens de poeira) no Universo. Em 1986, Bohdan Paczynski de Princeton compreendeu que, se os MACHOs passassem em frente de uma estrela, aumentariam o seu brilho e criariam uma segunda imagem.

No princípio da década de 1990, várias equipas de cientistas (como a francesa EROS, a australiano-americana MACHO e a polaco-americana OGLE) aplicaram este método ao centro da Via Láctea e descobriram mais de 500 eventos de microlentes (mais do que se esperava, porque alguma desta matéria consistia em estrelas pouco maciças e não em verdadeiros MACHOs). Este

mesmo método pode ser usado para encontrar planetas extra-solares que orbitam outras estrelas. Uma vez que um planeta exerceria um efeito gravitacional pequeno, mas perceptível, na luz da estrela mãe, as lentes de Einstein podem, em princípio, detectá-lo. Este método já permitiu identificar uma porção de candidatos a planetas extra-solares, alguns dos quais perto do centro da Via Láctea.

Mesmo a constante de Hubble e a constante cosmológica podem ser medidas com as lentes de Einstein. A constante de Hubble é medida fazendo uma observação subtil. Os quasares brilham e escurecem com o tempo; podemos esperar que quasares duplos, sendo imagens do mesmo objecto, oscilem à mesma taxa. Na realidade, estes quasares gémeos não oscilam completamente em uníssono. Usando a distribuição conhecida da matéria, os astrónomos podem calcular a demora do tempo a dividir pelo tempo total que a luz leva a chegar à Terra. Medindo a demora do tempo no brilho dos quasares duplos, é possível

calcular a sua distância relativamente à Terra. Conhecendo o seu desvio para o vermelho, é possível calcular a constante de Hubble. (Este método foi aplicado ao quasar Q0957+561, que se descobriu que ficava a cerca de 14 mil milhões de anos-luz da Terra. Desde então, a constante de Hubble tem sido calculada analisando outros sete quasares. Dentro das margens de erro, estes cálculos concordam com os resultados conhecidos. O interessante é que este método é totalmente independente do brilho das estrelas, tal como as Cefeides e as supemovas do tipo Ia, o que constitui uma verificação independente dos resultados.)

A constante cosmológica, que pode conter a chave do futuro do nosso Universo, também pode ser medida por este método. O cálculo é um pouco imperfeito, mas também concorda com outros métodos. Como o volume total do Universo era mais pequeno há milhares de milhões de anos, a probabilidade de encontrar quasares que formassem uma lente de Einstein também era

maior no passado. Assim, medindo o número de quasares duplos em diferentes fases da evolução do Universo, podemos calcular aproximadamente o volume total do Universo e a constante cosmológica, que ajuda a conduzir a expansão do Universo. Em 1998, os astrónomos do Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics fizeram a primeira estimativa aproximada da constante cosmológica e concluíram que provavelmente não constituía mais de 62% do conteúdo total de matéria/energia do Universo.[20] (O resultado actual do WMAP é de 73%).

MATÉRIA NEGRA NA SALA DE ESTAR

A matéria negra, se puder penetrar no Universo, não existe exclusivamente no vácuo frio do espaço. De facto, também se poderá encontrar na nossa sala de estar. Hoje, algumas equipas de investigação competem para ver quem será o primeiro a apanhar a primeira partícula de matéria negra no laboratório. As apostas são

altas; a equipa que for capaz de capturar uma partícula de matéria negra que passe através dos seus detectores será a primeira a detectar uma nova forma de matéria em 2000 anos.

A ideia central que subjaz a estas experiências é ter um grande bloco de matéria pura (como iodeto de sódio, óxido de alumínio, fréon, germânio ou silício), com o qual as partículas de matéria negra possam interagir. Ocasionalmente, uma partícula de matéria negra pode colidir com o núcleo de um átomo e causar um padrão de declínio característico. Fotografando os rastos das partículas envolvidas neste declínio, os cientistas podem confirmar a presença de matéria negra.

Os experimentadores estão prudentemente optimistas, uma vez que a sensibilidade do seu equipamento lhes dá a melhor oportunidade de observar a matéria escura. O nosso sistema solar orbita em tomo do buraco negro no centro da Via Láctea a 220 quilómetros por segundo. O nosso planeta está, portanto, a passar através de uma considerável quantidade de matéria negra. Os

físicos estimam que mil milhões de partículas de matéria negra fluem através de cada metro quadrado do nosso mundo por segundo, incluindo através do nosso corpo.[21]

Embora vivamos num «vento de matéria negra» que sopra através do nosso sistema solar, as experiências para detectar a matéria negra no laboratório têm sido muito difíceis, porque as partículas de matéria negra interagem muito fracamente com a matéria comum. Por exemplo, os cientistas esperarão encontrar algures entre 0,01 a 10 eventos por ano ocorrendo num único quilograma de matéria no laboratório. Por outras palavras, seria preciso observar cuidadosamente grandes quantidades desta matéria ao longo de muitos anos para assistir a eventos consistentes com colisões de matéria negra.

Até agora, as experiências com acrónimos como UKDMC, no Reino Unido, ROSEBUD, em Canfranc, em Espanha, SIMPLE, em Rustrel, em França e Edelweiss, em Frejus, na França, ainda não detectaram quaisquer eventos desta

natureza.[22] Uma experiência designada por DAMA, fora de Roma, suscitou grande tumulto em 1999, quando constou que os cientistas tinham visto partículas de matéria negra. Como o DAMA usa 100 quilogramas de iodeto de sódio, é o maior detector do mundo. No entanto, quando os outros detectores tentaram reproduzir os resultados do DAMA, não encontraram nada, o que lançou dúvidas sobre essas descobertas.

O físico David B. Cline observa: «Se os detectores registarem e verificarem um sinal, será uma das maiores conquistas do século xx1... O maior mistério da moderna astrofísica pode em breve ser resolvido».[23]

Se a matéria negra for encontrada dentro de pouco tempo, como muitos físicos esperam, poderá vir em abono da supersimetria (e, possivelmente, depois, da teoria de cordas) sem recorrer a esmagadores de átomos.

MATÉRIA NEGRA SUSY (SUPERSIMÉTRICA)

Um olhar rápido às partículas previstas pela supersimetria mostra que há vários candidatos para explicar a matéria negra. Um é o neutralino, uma família de partículas que contém a superparceira do protão. Teoricamente, o neutralino parece ajustar-se aos dados. Não só tem carga neutra e, portanto, é invisível e maciço (deste modo, só é afectado pela gravidade), como também é estável. (Isto deve-se ao facto de ter uma massa menor que qualquer partícula da sua família e, assim, não poder decair para um estado inferior). Finalmente, e talvez o mais importante, o Universo devia estar cheio de neutralinos, o que faria deles os candidatos ideais da matéria negra.

Os neutralinos têm uma grande vantagem: podem resolver o mistério, esclarecendo porque é que a matéria negra constitui 23% do conteúdo de matéria/energia do Universo, enquanto o hidrogénio e o hélio perfazem uns meros 4%.

Recorde-se que, quando o Universo tinha 380 000 anos, a temperatura desceu até os átomos

deixarem de ser separados pelas colisões causadas pelo calor intenso do big bang. Nessa altura, a bola de fogo em expansão começou a arrefecer, a condensar-se e a formar átomos estáveis e inteiros. A actual abundância de átomos remonta mais ou menos a esse período. A lição é que a abundância de matéria no Universo remonta ao tempo em que o Universo arrefeceu suficientemente para que a matéria pudesse ficar estável.

Este mesmo argumento pode ser usado para calcular a abundância de neutralinos. Pouco depois do big bang, a temperatura era tão incrivelmente elevada que até os neutralinos foram destruídos por colisões. Mas, quando o Universo arrefeceu, num determinado momento, a temperatura desceu o suficiente para que os neutralinos se formassem sem serem destruídos. A abundância de neutralinos remonta a esta era primitiva. Quando fazemos este cálculo, verificamos que a abundância de neutralinos é muito maior que a dos átomos e que, de facto, corresponde aproximadamente à actual abundância de matéria negra.

As partículas supersimétricas, por conseguinte, podem explicar porque é que a matéria negra é tão abundante no Universo.

SLOAN SKY SURVEY

Embora muitos dos avanços do século xxr sejam feitos com instrumentos em satélites, tal não significa que a investigação com telescópios ópticos e radiotelescópios localizados na Terra tenha sido posta de lado. Na realidade, o impacto da revolução digital mudou a maneira como os telescópios ópticos e os radiotelescópios são utilizados, tomando possíveis análises estatísticas de centenas de milhares de galáxias. A tecnologia dos telescópios está agora a conhecer um súbito desenvolvimento em resultado destes novos meios.

Os astrónomos costumavam protestar por causa do tempo limitado que lhes era concedido para usarem os maiores telescópios do mundo. Gastavam ciosamente o seu precioso tempo com estes instrumentos, passando muitas horas a trabalhar durante a noite ao frio, em salas húmidas.

Este método antiquado de observação era extremamente ineficaz e, muitas vezes, levava a acirradas contendas entre os astrónomos que se sentiam menosprezados pelo tempo de «sacerdócio» gasto no telescópio. Tudo isto está a mudar com o aparecimento da Internet e dos computadores de alta velocidade.

Hoje, muitos telescópios estão completamente automatizados e podem ser programados a milhares de quilómetros de distância por astrónomos de diferentes continentes. Os resultados destas observações de estrelas maciças podem ser digitalizados e disponibilizados na Internet, e os dados podem ser analisados por poderosos supercomputadores. Um exemplo do poder deste método digital é o SETI@home, um projecto situado na Universidade da Califórnia, em Berkeley, para analisar sinais de manifestações de inteligência extraterrestre. Os numerosos dados do radiotelescópio Aricebo, em Porto Rico, são divididos em pequenas peças digitais e enviados pela Internet para os computadores de todo o

mundo, sobretudo a amadores. Um programa de software screen saver analisa os dados de sinais de inteligência, quando o PC não está a ser utilizado. Com este método, o grupo de investigação construiu a maior rede mundial de computadores, ligando cerca de 5 milhões de PC de todos os pontos do globo.

O exemplo mais proeminente da exploração digital actual do Universo é o Sloan Sky Survey, a mais ambiciosa observação do céu nocturno jamais empreendida. Como o antigo Palomar Sky Survey, que usava chapas fotográficas antiquadas armazenadas em grossos volumes, o Sloan Sky Survey produzirá um mapa pormenorizado dos objectos celestes. A observação permitiu construir mapas tridimensionais de galáxias distantes em cinco cores, incluindo o desvio para o vermelho de cerca de um milhão de galáxias. O resultado do Sloan Sky Survey é um mapa do Universo em larga escala várias centenas de vezes maior do que os anteriores. Cartografará com pormenor um quarto de todo o céu e determinará a posição

e o brilho de 100 milhões de objectos celestes. Também determinará a distância a mais de um milhão de galáxias e a cerca de 100 000 quasares. A informação total gerada pela observação será de 15 terabytes (15 biliões de bytes), o que rivaliza com a informação armazenada na Biblioteca do Congresso.

O núcleo do Sloan Survey é um telescópio de 2,5 metros, situado no sul do Novo México, que contém uma das mais avançadas câmaras já produzidas. Contém trinta delicados sensores electrónicos de luz, chamados CCD (dispositivos de carga dupla), cada um deles com 13 cm2, encerradas num vácuo. Cada sensor, arrefecido a uma temperatura inferior a -80 ºC por azoto líquido contém quatro milhões de elementos de imagens. Toda a luz recolhida pelo telescópio pode ser instantaneamente digitalizada pelos CCDs e conduzida directamente para um computador para processamento. Por menos de 20 milhões de euros, é possível obter uma imagem surpreendente do Universo ao custo de um

centésimo do custo do telescópio espacial Hubble.

Alguns destes dados digitalizados são colocados na Internet, onde os astrónomos de todo o mundo os podem analisar com cuidado. Deste modo, pode-se aproveitar o potencial intelectual dos cientistas do mundo. No passado, muitos cientistas do Terceiro Mundo eram incapazes de aceder aos dados e às revistas mais recentes. Foi um tremendo desperdício de talento científico. Agora, com a Internet, podem descarregar os dados das observações do céu, ler os artigos logo que são disponibilizados na Internet e também publicar artigos na Web à velocidade da luz.

O Sloan Survey já está a mudar o modo como a Astronomia é praticada, com novos resultados que derivaram da análise de centenas de milhares de galáxias, que não teriam sido possíveis há alguns anos. Por exemplo, em Maio de 2003, uma equipa de cientistas da Espanha, da Alemanha e dos Estados Unidos anunciou que tinha analisado 250.000 galáxias em busca de provas da

existência da matéria negra. Para além deste elevado número, focaram 3.000 galáxias com aglomerados de estrelas que orbitam à sua volta. Usando as leis do movimento de Newton para analisar o movimento destes satélites, calcularam a quantidade de matéria negra que tem de rodear a galáxia central. Estes cientistas já estabeleceram uma teoria rival. (Uma teoria alternativa, proposta pela primeira vez em 1983, tentou explicar as órbitas anómalas das estrelas nas galáxias modificando as próprias leis de Newton. Talvez a matéria negra não exista, mas seja devida a um erro das leis de Newton. Os dados da observação levantam dúvidas sobre esta teoria.)

Em Julho de 2003, outra equipa de cientistas da Alemanha e dos Estados Unidos anunciou que tinha analisado 120.000 galáxias vizinhas usando o Sloan Survey para desvendar a relação entre as galáxias e os buracos negros que estão no seu interior. A questão é: o que apareceu primeiro: o buraco negro ou a galáxia que o alberga? O resultado desta investigação revela que a formação

da galáxia e a formação do buraco negro estão intimamente ligadas e, provavelmente, formaram-se conjuntamente. Mostrou que, das 120.000 galáxias sujeitas a observação, 20.000 contêm buracos negros que ainda estão a crescer (ao contrário do buraco negro da Via Láctea, que parece tranquilo). Os resultados mostram que as galáxias com buracos negros que ainda estão em crescimento são muito maiores do que a Via Láctea, e que elas crescem absorvendo o gás relativamente frio da galáxia.

COMPENSAÇÃO DAS FLUTUAÇÕES TÉRMICAS

Outra revitalização a que os telescópios ópticos foram sujeitos foi o recurso a lasers, para compensar a distorção da atmosfera. As estrelas não cintilam porque vibram; as estrelas cintilam sobretudo devido às pequenas flutuações térmicas da atmosfera. Isto significa que, no espaço exterior, longe da atmosfera, as estrelas cegam continuamente os nossos astronautas. Embora esta cintilação seja responsável pela beleza

do céu noctumo, para um astrónomo é um pesadelo, que origina representações pouco distintas dos corpos celestes. (Quando era criança, lembro-me de olhar para as imagens pouco nítidas do planeta Marte, desejando que houvesse alguma maneira de obter imagens cristalinas do planeta vermelho. Se as perturbações da atmosfera pudessem ser eliminadas dispondo de outra forma os feixes de luz, pensava eu, talvez o segredo da vida extraterrestre pudesse ser resolvido.)

Uma maneira de compensar esta falta de nitidez consiste em usar lasers e computadores de alta velocidade para diminuir a distorção. Este método usa «Óptica adaptável» de que foi pioneira uma colega minha de Harvard, Claire Max do Lawrence Livermore National Laboratory e outros, que usaram o enorme telescópio W. M. Keck, no Havai (o maior do mundo) e também um telescópio mais pequeno, o Shane Telescope, de 3 metros, do Lick Observatory, na Califórnia. Por exemplo, se dispararmos um feixe de lasers

para o espaço exterior, é possível medir pequenas flutuações da temperatura da atmosfera. Esta informação é analisada por computador, que faz então pequenos ajustamentos no espelho de um telescópio que compensam a distorção da luz da estrela. Desta maneira, é possível eliminar quase totalmente a perturbação da atmosfera.

Este método foi testado com êxito em 1996 e desde então tem produzido imagens cristalinas de planetas, de estrelas e de galáxias. O sistema dispara para o céu luz de um laser de cor harmoniosa com 18 W de potência. O laser está ligado a um telescópio de 3 metros, cujos espelhos deformáveis estão ajustados de modo a compensar a distorção atmosférica. A própria imagem é registada numa câmara CCD e digitalizada. Com um dispositivo modesto, este sistema tem obtido imagens quase comparáveis às do telescópio Hubble. Com este método que dá nova vida aos telescópios ópticos, podemos ver delicados pormenores nos planetas exteriores e sondar o núcleo de um quasar.

Este método também aumentou a resolução do telescópio Keck por um factor de 10. O Keck Observatory, localizado no cimo do vulcão adormecido de Mauna Kea, no Havai, quase 4200 metros acima do nível do mar, consiste em telescópios gémeos cada um dos quais pesa 270 toneladas. Cada espelho, que mede 1O metros de diâmetro, é composto por trinta e seis peças hexagonais, cada uma das quais pode ser manipulada independentemente por computador. Em 1999, foi instalado no Keck II um sistema óptico adaptável, que consiste num pequeno espelho deformável, que pode mudar de forma 670 vezes por segundo. Este sistema já captou a imagem de estrelas que orbitam em redor do buraco negro no centro da nossa Via Láctea, da superficie de Neptuno e de Titã (uma lua de Saturno) e até mesmo de um planeta extra-solar que eclipsou a estrela mãe, a 153 anos-luz da Terra. A luz da estrela HD 209458 escureceu exactamente como se previa, quando o planeta se movia em frente da estrela.

REDE DE RADIOTELESCÓPIOS

Os radiotelescópios também têm sido modernizados pela revolução dos computadores. No passado, os radiotelescópios eram limitados pelo tamanho do seu disco. Quanto maior fosse o disco, mais sinais de rádio podiam ser recolhidos do espaço para análise. Contudo, quanto maior fosse o disco, mais dispendioso se tomava. Uma maneira de ultrapassar este problema é ligar vários discos uns aos outros, para simular a capacidade de captação de rádio de um super-radiotelescópio. (O maior radiotelescópio que pode ser montado na Terra é do tamanho da própria Terra.) Os esforços anteriores para ligar radiotelescópios na Alemanha, na Itália e nos Estados Unidos revelaram-se particularmente bem sucedidos.

Um problema deste método é que os sinais de todos os radiotelescópios têm de ser combinados com precisão e introduzidos no computador. No entanto, com o advento da Internet e de económicos computadores de alta velocidade, os custos

desceram consideravelmente. Hoje, conceber radiotelescópios com o tamanho efectivo do planeta Terra já não é uma fantasia.

Nos Estados Unidos, o dispositivo mais avançado que emprega a tecnologia da interferência é o VLBA (Very Long Baseline Array), que é um conjunto de dez antenas de rádio localizadas em diferentes sítios, incluindo o Novo México, o Arizona, New Hampshire, Washington, Texas, as Ilhas Virgin e o Havai. Cada estação de VLBA contém um enorme prato com um diâmetro de 25 metros, que pesa 240 toneladas e que é tão alto como um edificio de dez andares. Os sinais de rádio são cuidadosamente registados em cada ponto da fita, que é então encaminhada para o Socorro Operations Center, no Novo México, onde são confrontados e analisados. O sistema começou a funcionar em 1993 e custou 85 milhões de dólares.

Correlacionar os dados provenientes destes dez locais origina um radiotelescópio gigante com 8000 quilómetros de largura e pode produzir

algumas das imagens mais nítidas na Terra. É como estar sentado em Nova Iorque e ler um jornal em Los Angeles. O VLBA já produziu «filmes» de jactos cósmicos e explosões de supernovas e a medição mais exacta alguma vez feita da distância de um objecto fora da Via Láctea.

No futuro, até os telescópios ópticos podem usar o poder da inferometria, embora isso seja muito dificil, devido ao curto comprimento de onda da luz. Há um plano para trazer os dados ópticos dos dois telescópios de Keck Obervatory no Havai e fazê-los interferir, criando um telescópio gigantesco muito maior que qualquer outro.

MEDIR A DÉCIMA PRIMEIRA DIMENSÃO

Para além da pesquisa de matéria negra e dos buracos negros, o que é mais intrigante para os físicos é a pesquisa de dimensões superiores de espaço e de tempo. Uma das tentativas mais ambiciosas para verificar a existência de um Universo vizinho foi feita na Universidade do Colorado, em Denver. Os cientistas tentaram

medir os desvios da famosa lei do inverso do quadrado de Newton.

De acordo com a teoria da gravidade de Newton, a força de atracção entre quaisquer dois corpos diminui com o inverso do quadrado da distância que os separa. Se duplicarmos a distância da Terra ao Sol, a força da gravidade reduz-se de 2 ao quadrado, ou seja, 4. Isto, por sua vez, mede a dimensão do espaço.

Até agora, a lei da gravidade de Newton mantém-se válida a distâncias cosmológicas que envolvem grandes aglomerados de galáxias. Mas ninguém testou adequadamente a sua lei da gravidade em pequenas escalas, porque era proibitivamente dificil. Como a gravidade é uma força tão fraca, a mais pequena perturbação pode invalidar a experiência. Até mesmo o passar de um carro cria vibrações suficientemente grandes para invalidar as experiências que tentam medir a gravidade entre dois objectos pequenos.

Os físicos do Colorado construíram um delicado instrumento de ressonância de alta-

frequência, que conseguiu testar a lei da gravidade a um décimo de milímetro, uma novidade a uma escala tão pequena. A experiência consistia em duas canas de tungsténio muito delgadas suspensas no vácuo. Uma das canas vibrava a uma frequência de 1000 ciclos por segundo, de modo semelhante ao de um trampolim para mergulhadores. Os físicos procuraram então as vibrações transmitidas através do vácuo para a segunda cana. O aparelho era tão sensível que podia detectar o movimento da segunda cana causado pela força de um bilionésimo do peso de um grão de areia. Se houvesse um desvio na lei da gravidade de Newton, então haveria ligeiras perturbações registadas na segunda cana. Contudo, depois de analisar distâncias inferiores a 108 milionésimos do metro, os físicos não encontraram quaisquer desvios. «Até agora, Newton mantém-se firme»,[24] disse C. D. Hoyle da Universidade de Trento, na Itália, que fez uma análise da experiência na revista Nature.

Este resultado foi negativo, mas apenas abriu o apetite de outros físicos que querem testar desvios à lei de Newton ao nível microscópico.

Uma outra experiência está a ser planeada na Universidade de Purdue. Os físicos querem medir pequenos desvios na gravidade de Newton não ao nível do milímetro mas ao nível atómico. Planeiam fazê-lo recorrendo à nanotecnologia para medir a diferença entre o níquel 58 e o níquel 64. Estes dois isótopos têm propriedades eléctricas e químicas idênticas, mas um isótopo tem mais seis neutrões do que o outro. Em princípio, a única diferença entre estes isótopos reside no seu peso.

Estes cientistas visam criar um dispositivo de Casimir que consiste em dois conjuntos de lâminas neutras constituídas pelos dois isótopos. Normalmente, quando estas duas lâminas se aproximam uma da outra, nada acontece, porque não têm carga. Mas, se as aproximarmos muito uma da outra, o efeito de Casimir verifica-se e as duas lâminas são ligeiramente atraídas, efeito que

já foi medido no laboratório. Mas como cada conjunto de lâminas paralelas é constituído por isótopos de níquel diferentes, serão atraídas de modo ligeiramente diferente, o que depende da sua gravidade.

Para maximizar o efeito de Casimir, as lâminas têm de se aproximar muito. (O efeito é inversamente proporcional à quarta potência da distância da separação. Por conseguinte, o efeito cresce rapidamente quando as lâminas se aproximam.) Os físicos de Purdue recorrerão à nanotecnologia para fazer lâminas separadas por distâncias atómicas. Usarão os mais recentes osciladores de torsão microelectromecânicos para medir pequenas oscilações nas lâminas. Qualquer diferença entre as lâminas de níquel 58 e 64 pode então ser atribuída à gravidade. Deste modo, esperam medir desvios às leis do movimento de Newton a distâncias subatómicas. Se, com este engenhoso dispositivo, encontrarem um desvio da famosa lei do inverso do quadrado de Newton, poderá ser um sinal da presença de um Universo de dimensões

superiores separado do nosso pelo tamanho de um átomo.

LARGE HADRON COLLIDER

Mas o dispositivo que pode resolver decisivamente muitas destas questões é o LHC (Large Hadron Collider), que está quase concluído, perto de Genebra, na Suíça, no famoso laboratório nuclear CERN. Ao contrário de experiências anteriores sobre formas estranhas de matéria que ocorrem naturalmente no nosso mundo, o LHC pode ter energia suficiente para as criar directamente no laboratório. O LHCserá capaz de sondar pequenas distâncias, inferiores a 10^{-19} metro, ou 10.000 vezes mais pequenas do que um protão e criar temperaturas nunca vistas desde o big bang. «Os físicos estão certos de que a natureza tem novos truques na manga que têm de ser revelados nestas colisões - talvez uma partícula exótica conhecida por bosão de Higgs, talvez a prova de um efeito miraculoso chamado supersimetria ou talvez algo inesperado que provocará uma

revolução na física teórica das partículas»,[25] escreve Chris Llewellyn Smith, antigo director geral do CERN e hoje presidente do University College, em Londres. São já 7.000 os utilizadores do equipamento do CERN, ou seja, mais de metade de todos os físicos experimentais das partículas do planeta. E muitos deles estarão directamente envolvidos nas experiências do LHC.

O LHC é uma poderosa máquina circular, com 27 quilómetros de diâmetro, suficientemente grande para envolver muitas cidades em todo o mundo. O seu túnel é tão comprido que atravessa a fronteira francosuíça. O LHC é tão dispendioso que a sua construção exigiu um consórcio de várias nações europeias. Quando estiver concluído, em 2007, ímanes poderosos dispostos ao longo de tubos circulares obrigarão um feixe de protões a circular a energias sempre crescentes até atingirem cerca de 14 biliões de electrões-volt.

A máquina consiste numa grande câmara circular de vácuo com ímanes enormes dispostos

estrategicamente ao longo do seu comprimenta para curvar o poderoso feixe num círculo. Quando as partículas circulam no tubo, a energia é injectada na câmara, aumentando a velocidade dos protões. Quando o feixe, finalmente, atinge um alvo, liberta uma combustão titânica de radiação. Os fragmentos resultantes desta colisão são então fotografados por baterias de detectores para procurar provas de novas partículas subatómicas exóticas.

O LHC é uma máquina verdadeiramente gigantesca. Enquanto o LISA e o LIGO são superiores em sensibilidade, o LHC é superior em intensidade de torsão. Os seus poderosos ímanes, que inclinam o feixe de protões num gracioso arco, geram um campo de 8,3 teslas que é 160.000 vezes maior do que o campo magnético da Terra. Para gerar campos magnéticos tão monstruosos, os físicos disparam uma corrente eléctrica de 12.000 A numa série de espirais, que têm de ser arrefecidas a -271 ºC, quando as espirais perdem toda a resistência e se tomam

supercondutores. Ao todo, há 1.235 ímanes com 15 metros de comprimento, colocados ao longo de 85% de toda a circunferência da máquma.

No túnel, os protões são acelerados a 99,999999% da velocidade da luz até atingirem um alvo, localizado em quatro lugares em volta do tubo gerando, assim, milhares de milhões de colisões por segundo. Enormes detectores são aí colocados (o maior é do tamanho de um edificio de seis andares), para analisar os destroços e procurar eventuais partículas subatómicas.

Como Smith já mencionara, um dos objectivos do LHC é descobrir o ardiloso bosão de Higgs, que é a última peça do modelo padrão que tem escapado à captura. É importante, porque esta partícula é responsável pela quebra espontânea de simetria nas teorias de partículas e dá origem às massas do mundo quântico. As estimativas da massa do bosão de Higgs situam-no algures entre 115 e 200 milhares de milhões de electrões-volt.[26] (O protão, pelo contrário, tem uma massa de cerca de mil milhões de electrões-volt). (O

Tevatron, uma máquina muito mais pequena localizada no Fermilab, perto de Chicago, pode, de facto, vir a ser o primeiro acelerador a capturar o ardiloso bosão de Higgs, se a massa da partícula não for demasiado grande. Em princípio, o Tevatron pode produzir mais de 10.000 bosões de Higgs, se funcionar como se espera. O LHC, no entanto, gerará partículas com energia sete vezes superior. Com 14 biliões de electrões-volt em jogo, é possível que o LHC se transforme numa «fábrica» de bosões de Higgs, criando milhões deles nas suas colisões de protões).

Outro objectivo do LHC é criar condições que não são vistas desde o big bang. Em particular, os físicos acreditam que o big bang consistiu originariamente num vasto conjunto de quarks e gluões extremamente quentes, chamado plasma quark-gluão. O LHC poderá produzir este plasma quark-gluão que dominou o Universo nos primeiros 10 microssegundos da sua existência. No LHC poderemos fazer colidir núcleos de chumbo com uma energia de 1,1 biliões de

electrões-volt. Com essa colisão colossal, os 400 protões e neutrões podem «liquefazer-se» e libertar os quarks neste plasma quente. Deste modo, a Cosmologia pode transformar-se gradualmente numa ciência menos observacional e mais experimental, e serão levadas a cabo, em laboratório, experiências precisas em plasmas de quark-gluão.

Também há esperança de que o LHC possa encontrar miniburacos negros entre os destroços criados pelo esmagamento de protões a energias fantásticas, como se referiu no capítulo 7. Normalmente, a criação de buracos negros quânticos deveria verificar-se à energia de Planck, que está um milhar de bilião de vezes para além da energia do LHC. Mas se existir um Universo paralelo a um milímetro do nosso, isso reduzirá a energia a que os efeitos gravitacionais quânticos se tornam mensuráveis, pondo os miniburacos negros ao alcance do LHC.

E, finalmente, ainda há esperança de que o LHC encontre provas de supersimetria, o que constituiria uma descoberta histórica na física das

partículas. Julga-se que estas partículas são parceiras das partículas comuns que se observam na natureza. Embora a teoria das cordas e a supersimetria prevejam que cada partícula subatómica tem uma «gémea» com spin diferente, a supersimetria nunca foi observada na natureza, provavelmente porque as nossas máquinas não são suficientemente poderosas para a detectar.

A existência de superpartículas ajudará a responder a duas questões incómodas. Primeiro, a teoria de cordas está correcta? Embora seja extremamente dificil detectar directamente as cordas, pode ser possível detectar as oitavas mais baixas ou as ressonâncias da teoria de cordas. Se as partículas forem descobertas, ainda seria preciso percorrer um longo caminho para encontrar uma justificação experimental da teoria de cordas (embora isto ainda não seja uma prova directa de que a teoria está correcta).

Em segundo lugar, talvez apresentasse o candidato mais plausível da matéria negra. Se a matéria negra consiste em partículas

subatómicas, estas têm de ser estáveis e neutras em carga (de outro modo, seriam visíveis) e têm de interagir gravitacionalmente. As três propriedades podem ser todas encontradas entre as partículas preditas pela teoria de cordas.

O LHC, que será o acelerador de partículas mais poderoso quando estiver a funcionar, é, na realidade, uma segunda escolha para muitos físicos. Já na década de 1980, o Presidente Ronald Reagan aprovara o Superconducting Supercollider (SSC), uma máquina monstruosa com 80 quilómetros de circunferência que deveria ser construída perto de Dallas, no Texas; comparado com ela, o LHC seria um anão. Enquanto o LHC é capaz de produzir colisões de partículas de energia com 14 biliões de electrões-volt, o SSC foi concebido para produzir colisões com 40 biliões de electrões-volt. O projecto foi inicialmente aprovado mas, nos últimos dias das audiências, o Congresso dos Estados Unidos cancelou-o abruptamente. Foi um tremendo golpe na física de

alta energia, provocando um atraso de toda uma geração.

Em primeiro lugar, o debate centrou-se no custo da máquina, de 11 mil milhões de dólares, e noutras grandes prioridades científicas. A própria comunidade científica estava muito dividida em relação ao SSC, havendo alguns físicos que insistiam que o SSC podia ser financiado pela sua própria investigação. A controvérsia foi tão acalorada que o New York Times publicou um editorial crítico acerca dos perigos de a «grande ciência» poder destruir a «pequena ciência». (Estes argumentos foram enganadores, uma vez que o orçamento do SSC provinha de uma fonte diferente da do orçamento para a pequena ciência. O verdadeiro competidor que a do financiamento foi a Space Station, que muitos cientistas acham que é um verdadeiro desperdício de verba).

Mas, em retrospectiva, a controvérsia também se centrou sobre a questão de aprender a falar ao público numa linguagem que ele pudesse compreender. Em certo sentido, o mundo da

Física estava habituado a que os seus monstruosos esmagadores de átomos fossem aprovados pelo Congresso, porque os Russos também os estavam a construir. Os Russos, de facto, estavam a construir o seu acelerador UNK para competir com o SSC. O prestígio e a honra nacionais estavam em jogo. Mas a União Soviética desintegrou-se, a construção da máquina foi cancelada e o vento deixou gradualmente de soprar a favor do programa SSC.[27]

ACELERADORES TABLETOP

Com o LHC, os físicos estão a aproximar-se gradualmente dos limites superiores da energia atingível com a geração presente de aceleradores, que agora fazem parecer pequenas muitas cidades modernas e que custam dez mil milhões de dólares. São tão grandes que apenas grandes consórcios de nações os podem financiar. São necessários novos princípios e ideias, se quisermos destruir as barreiras que os aceleradores convencionais enfrentam. O Santo Graal dos físicos das

partículas é criar um acelerador tabletop capaz de criar feixes com milhares de milhões de electrões-volt numa fracção do tamanho e ao custo dos aceleradores convenc1ona1s.

Para compreendermos o problema, imaginemos uma corrida de estafetas em que os corredores, que se revezam, são distribuídos em volta de uma enorme pista circular. Quando correm em volta da pista passam o testemunho. Agora imaginemos que, cada vez que um corredor passa o bastão a outro, os corredores recebem uma carga extra de energia, pelo que correm cada vez mais rapidamente ao longo da pista.

Algo de semelhante se passa com um acelerador de partículas, onde o bastão equivale a um feixe de partículas subatómicas que se movem em tomo de uma pista circular. Cada vez que o feixe passa de um corredor para outro, recebe uma injecção de energia de frequência de rádio (FR), que o acelera para velocidades cada vez maiores. Foi assim que os aceleradores de partículas foram construídos nos últimos

cinquenta anos. O problema dos aceleradores de partículas convencionais é que estamos a atingir o limite de energia FR que pode ser usada para fazer funcionar o acelerador.

Para resolver este problema incómodo, os cientistas estão a fazer experiências bombeando energia para o feixe de várias maneiras completamente diferentes, por exemplo com poderosos feixes de laser, cuja potência cresce exponencialmente. Uma vantagem da luz de laser é o facto de ser «coerente» - isto é, todas as ondas de luz vibram perfeitamente em uníssono possibilitando a criação de feixes extraordinariamente poderosos. Hoje, os feixes de laser podem gerar uma eclosão de energia com biliões de watts (terawatts) de potência durante um breve período de tempo. (Pelo contrário, uma fábrica nuclear apenas pode gerar um exíguo milhar de milhão de watts de potência, mas a uma taxa estacionária.) Os lasers que geram mais de um bilião de milhares de watts (um petawatt) estão agora a ser disponibilizados.

Os aceleradores de laser funcionam com o princípio seguinte. A luz do laser é suficientemente quente para criar um plasma (um conjunto de átomos ionizados) que se move em oscilações semelhantes a ondas a altas velocidades, como uma onda de maré. Então um feixe de partículas subatómicas «surfa» na esteira criada por esta onda de plasma. Injectando cada vez mais energia de laser, a onda de plasma desloca-se a uma velocidade maior aumentando a energia do feixe de partículas que vai à sua superficie. Recentemente, fazendo explodir um laser de 50 terawatts num alvo sólido, os cientistas do Rutherford Appleton Laboratory, em Inglaterra, produziram um feixe de protões que emergem de um alvo que transporta mais de 400 milhões de electrõesvolt (MeV) de energia num feixe colimado. Na École Polytechnique de Paris, os físicos aceleraram electrões a 200 MeV numa distância de um milímetro.

Os aceleradores de laser construídos até agora têm sido pequenos e pouco poderosos. Mas

suponhamos por momentos que este acelerador podia ser aumentado de modo a funcionar não sobre um milímetro mas sobre um metro. Então seria capaz de acelerar electrões a 200 GeV através da distância de um metro, fazendo o mesmo que um acelerador tabletop. Outro marco foi atingido em 2001, quando os físicos do SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) conseguiram acelerar electrões num percurso de 1,4 metros. Em vez de usar um feixe de lasers, criaram uma onda de plasma injectando um feixe de partículas com carga. Embora a energia que atingiram tenha sido baixa, a experiência mostrou que as ondas de plasma podem acelerar partículas ao longo de um metro.

O progresso nesta área promissora de investigação tem sido extremamente rápido: a energia atingida por estes aceleradores está a crescer por um factor de 1O de cinco em cinco anos. A esta taxa, um acelerador tabletop protótipo pode estar ao nosso alcance. Se for bem sucedido, pode fazer com que o LHC se transforme no último

dos dinossáurios. Embora seja promissor, há, evidentemente, ainda muitas corridas de obstáculos a superar até se conseguir o acelerador tabletop. Como um surfista que «perde o controlo» cavalgando uma onda no oceano traiçoeiro, é difícil manter o feixe a cavalgar adequadamente a onda de plasma (os problemas incluem focar o feixe e manter a sua estabilidade e intensidade). Mas nenhum destes problemas parece intransponível.

O FUTURO

Há planos para comprovar a teoria de cordas. Witten alimenta a esperança de que, no instante do big bang, o Universo se expandiu tão rapidamente que talvez uma corda se tenha expandido juntamente com ele, deixando uma enorme corda de proporções astronómicas à deriva no espaço. Pensa ele: «Embora um tanto fantasista, este é o meu cenário favorito para confirmar a teoria de cordas, uma vez que nada resolveria

completamente a questão tão drasticamente como ver uma corda ao telescópio.»[28]

Brian Greene apresenta uma lista de cinco exemplos possíveis dedados experimentais que poderiam confirmar a teoria de cordas ou, pelo menos, dar-lhe credibilidade:[29]

1. A minúscula massa do fantasmagórico neutrino podia ser experimentalmente determinada e a teoria de cordas podia explicá-la.

2. Podiam ser encontradas pequenas violações do modelo padrão que fossem contra a física de partículas pontuais, como o decaimento de certas partículas subatómicas.

3. Podiam ser experimentalmente encontradas novas forças de longo alcance (diferentes da gravidade e do electromagnetismo) que indiciassem uma certa escolha de uma variedade de Calabi-Yau.

4. Podiam ser encontradas no laboratório partículas de matéria negra que

seriam comparadas com as previsões da teoria de cordas.

5. A teoria de cordas talvez possa determinar a quantidade de energia negra do Universo.

A minha opinião é que a verificação da teoria de cordas talvez venha inteiramente da Matemática pura e não da experimentação. Como se supõe que a teoria de cordas é uma teoria de tudo, seria uma teoria das energias do quotidiano, mas também das energias cósmicas. Assim, se, finalmente, conseguíssemos resolver completamente a teoria, seríamos capazes de calcular as propriedades dos objectos comuns e não apenas as propriedades dos objectos exóticos que se encontram no espaço exterior. Por exemplo, se a teoria de cordas puder determinar a massa do protão, do neutrão e do electrão, estaremos perante uma realização de primeira grandeza. Em todos os modelos da Física (excepto na teoria de cordas), a massa destas partículas familiares é colocada à mão. Não precisamos de um LHC, em

certo sentido, para verificar a teoria, uma vez que já conhecemos a massa de muitas partículas atómicas, quando todas elas deviam ser determinadas pela teoria de cordas sem parâmetros ajustáveis.

Como Einstein disse: «Estou convencido de que podemos descobrir, através de construção puramente matemática, os conceitos e as leis... que fornecem a chave da compreensão dos fenómenos naturais. A experiência pode sugerir os conceitos matemáticos apropriados, mas a maior parte não pode, certamente, ser deduzida a partir dela... Por conseguinte, em certo sentido, espero que seja verdade que o pensamento puro pode apreender a realidade, como sonharam os antigos.»[30]

Se é verdade, talvez a teoria M (ou qualquer teoria nos conduza finalmente a uma teoria quântica da gravidade) tome possível a viagem final de toda a vida inteligente do Universo, a fuga do nosso Universo moribundo para um novo lar, daqui a triliões de triliões de anos.

PARTE III
FUGA PARA O HIPERESPAÇO

CAPÍTULO DEZ
O Fim de Tudo

[Considere] a opinião actualmente defendida pela maior parte dos físicos, a saber: que o Sol com todos os planetas, com o

tempo se tomará tão frio para a vida, a menos que algum novo corpo se precipite para o Sol e lhe dê, assim, vida nova - acreditando, como eu acredito, que o

homem, num futuro distante, será uma criatura muito mais perfeita do que agora, é um pensamento intolerável que ele e todos os outros seres vivos estejam

condenados à aniquilação completa depois do progresso lento que se prolongou por tanto tempo. Charles Darwin

DE ACORDO COM A LENDA NÓRDICA, o dia do juízo final, ou Ragnarok, o Crepúsculo dos Deuses, será acompanhado de convulsões cataclísmicas. Midgard (a Terra Média) bem como os céus serão apanhados nas garras de um frio intenso de gelar os ossos. Ventos

cortantes, temporais de neve, terramotos desastrosos e a fome assolarão a Terra, enquanto os homens e as mulheres morrem catastroficamente. Três Invernos destes paralisarão a Terra, sem qualquer piedade, enquanto os lobos vorazes comem o Sol e a Lua, mergulhando o mundo numa escuridão total. As estrelas cairão dos céus, a terra tremerá e as montanhas desintegrar-se-ão. Os monstros ficarão em liberdade, quando o deus do caos, Loki, fugir, espalhando pela Terra erma a guerra, a confusão e a discórdia.

Odin, o pai dos deuses reunirá os seus bravos guerreiros pela última vez, em Valhalla, para o combate final. Finalmente, quando os deuses morrerem um a um, o deus do mal, Surtur, cuspirá fogo e enxofre ateando um inferno gigantesco que engolirá o céu e a terra. Quando todo o Universo mergulhar em chamas, a Terra afundar-se-á nos oceanos e o próprio tempo parará.

Mas do monte de cinzas, um novo mundo renasce. Uma nova terra, diferente da antiga,

surge gradualmente do mar, enquanto frutos novos e plantas exóticas brotam abundantemente do solo fértil, dando origem a uma nova raça de homens.

A lenda viking de um congelamento gigantesco seguido de chamas e de uma batalha final apresenta uma história sinistra do fim do mundo. Em todas as mitologias do mundo podemos encontrar temas semelhantes. O fim do mundo é acompanhado por grandes catástrofes climáticas, geralmente um grande incêndio, terramotos e tempestades de neve, a que se segue a batalha final entre deuses e demónios. Mas também há uma mensagem de esperança. Das cinzas nascerá a renovação.

Os cientistas, face às inevitáveis leis da física, têm agora de se confrontar com temas semelhantes. São os dados sólidos, e não as lendas sussurradas em volta das fogueiras, que determinam o modo como os cientistas vêem o fim do Universo. Mas temas semelhantes podem prevalecer no mundo científico. Entre as soluções das

equações de Einstein também vemos futuros possíveis que envolvem congelamento, fogo, catástrofes e o fim do Universo. Mas haverá um renascimento?

De acordo com a imagem que emerge do satélite WMAP, uma misteriosa força de antigravidade está a acelerar a expansão do Universo. Se continuar durante milhares de milhões ou biliões de anos, o Universo atingirá inevitavelmente um grande congelamento semelhante à tempestade de neve que profetiza o crepúsculo dos deuses, e toda a vida, tal como a conhecemos, terminará. Esta força de antigravidade que impele o Universo é proporcional ao volume do Universo. Assim, quanto maior se tomar o Universo, maior será a antigravidade que afasta as galáxias umas das outras, o que, por sua vez, aumentará o volume do Universo. Este ciclo vicioso repete-se infindavelmente, até o Universo perder o controlo e sofrer um crescimento exponencialmente rápido.

Finalmente, isto significará que trinta e seis galáxias do grupo local de galáxias constituirão todo o Universo visível, enquanto milhares de milhões de galáxias vizinhas passam velozmente o nosso horizonte de eventos. Com o espaço entre as galáxias a expandir-se a uma velocidade superior à da luz, o Universo tomar-se-á terrivelmente lúgubre. As temperaturas decairão, enquanto a energia remanescente se rarefará cada vez mais no espaço. Quando as temperaturas se aproximarem do zero absoluto, as espécies inteligentes terão de enfrentar o seu destino final: o congelamento.

TRÊS LEIS DA TERMODINÂMICA

Se todo o mundo é um palco, como Shakespeare disse, então deve haver, no fim, um III acto. No acto I, assistimos ao big bang e ao nascimento da vida e da consciência na Terra. No acto II, talvez exploremos as estrelas e as galáxias. Por último, no acto III, enfrentaremos a morte do Universo no bigfreeze.

Finalmente, verificamos que o guião tem de seguir as leis da Termodinâmica. No século XIX, os físicos formularam as três leis da termodinâmica que regem a física do calor e começaram a considerar a eventual morte do Universo. Em 1854, o grande físico alemão Hermann von Helmholtz compreendeu que as leis da Termodinâmica podiam ser aplicadas ao Universo como um todo, o que significa que tudo à nossa volta, incluindo as estrelas e as galáxias, um dia acabará por desaparecer.

A primeira lei determina que a quantidade total de matéria e de energia é conservada.[1] Embora a matéria e a energia se possam transformar uma na outra (através da célebre equação de Einstein $E = mc^2$), a quantidade total de matéria e de energia não pode ser criada ou destruída.

A segunda lei é a mais misteriosa e a mais profunda. Diz que a quantidade total de entropia (caos ou desordem) do Universo aumenta sempre. Por outras palavras, tudo acaba por envelhecer e morrer. Os incêndios das florestas, o

enferrujamento das máquinas, a queda dos impérios e o envelhecimento do corpo humano, tudo representa o aumento da entropia no Universo. É fácil, por exemplo, queimar uma folha de papel. Isto representa um aumento do caos total. Contudo, é impossível reconstituir a folha de papel. (Podemos diminuir a entropia realizando trabalho mecânico, como a um frigorífico, mas apenas numa pequena área vizinha; a entropia total de todo o sistema - o frigorífico e as suas vizinhanças - aumenta sempre.)

Arthur Eddington disse uma vez acerca da segunda lei: «A lei que diz que a entropia aumenta sempre -a Segunda Lei da Termodinâmica-ocupa, penso eu, a posição suprema entre as leis da natureza ... Se se descobrir que uma determinada teoria contraria a Segunda Lei da Termodinâmica, não se pode esperar que seja bem sucedida; nada lhe resta senão colapsar na mais profunda humilhação».[2]

(Em primeiro lugar, é como se a existência de formas complexas de vida na Terra violasse a segunda lei. Parece extraordinário que do caos da Terra primitiva tenha emergido uma incrível diversidade de formas de vida intrincadas, que albergam a inteligência e a consciência, e que fazem baixar a quantidade de entropia. Alguns admitiram que este milagre implicava a mão de um criador benévolo. Mas temos de ter presente que a vida é controlada pelas leis naturais da evolução e que a entropia total também aumenta, porque a energia adicional que alimenta a vida está a ser constantemente alimentada pelo Sol. Se incluirmos o Sol e a Terra, então a entropia total aumenta ainda mais.)

A terceira lei diz que nenhum sistema pode atingir o zero absoluto. É possível chegar a uma pequena fracção de grau acima do zero absoluto, mas nunca podemos alcançar um estado de movimento nulo. (E, se incorporarmos o princípio quântico, as moléculas terão sempre uma pequena quantidade de energia, uma vez que a

energia zero implica que conhecemos o lugar exacto e a velocidade de cada molécula, o que violaria o princípio da incerteza.)

Se a segunda lei se aplicar a todo o Universo, isso significa que ele acabará por desaparecer. As estrelas esgotarão o seu combustível nuclear, as galáxias deixarão de iluminar os céus e o Universo transformar-se-á numa colecção de anãs brancas mortas, de estrelas de neutrões e de buracos negros. O Universo mergulhará numa escuridão eterna.

Alguns cosmólogos tentaram evitar esta «morte térmica» apelando a um Universo oscilante. A entropia aumentaria continuamente, enquanto o Universo se expandia e acabava por se contrair. Mas depois do big crunch não é claro o que aconteceria à entropia do Universo. Alguns acalentaram a ideia de que talvez o Universo pudesse simplesmente repetir-se exactamente no ciclo seguinte. Mais realista é a possibilidade de a entropia ser transferida para o ciclo seguinte, o que significa que a duração da vida do Universo

aumentaria gradualmente em cada ciclo. Mas independentemente do modo como encaramos a questão, o Universo oscilante, como os universos abertos ou fechados, acabará por causar a destruição de toda a vida inteligente.

O BIG CRUNCH

Uma das primeiras tentativas para explicar fisicamente o fim do Universo foi um artigo escrito em 1969 por Sir Martin Rees intitulado «The Colapse of the Universe: An Eschatological Study»[3]. Até então, o valor de Q era ainda largamente desconhecido, pelo que ele admitia que era dois, o que significava que o Universo acabaria por deixar de se expandir e morreria num big crunch e não num bigfreeze.

Calculou que a expansão do Universo acabaria por parar, quando as galáxias estivessem duas vezes mais afastadas do que estão hoje, quando a gravidade acabasse por ultrapassar a expansão original do Universo. O desvio para o vermelho que vemos nos céus transformar-se-á

num desvio para o azul, à medida que as galáxias avançarem na nossa direcção.

Nesta versão, daqui a cerca de 50 mil milhões de anos, ocorrerão eventos catastróficos, que anunciarão a agonia final da morte do Universo. Uma centena de milhões de anos antes do crunch final, as galáxias do Universo, incluindo a nossa Via Láctea, começarão a colidir umas com as outras e acabarão por desaparecer. Curiosamente, Rees descobriu que as estrelas individuais se dissolverão ainda antes de começarem a colidir umas com as outras, por duas razões. Primeiro, a radiação das outras estrelas ganhará energia à medida que o Universo se contrai; assim, as estrelas serão banhadas pela luz muito intensa desviada para o azul das outras estrelas. Segundo, a temperatura da radiação de fundo de micro-ondas aumentará muito à medida que a temperatura do Universo sobe rapidamente. A combinação destes dois efeitos originará temperaturas que excedem a temperatura da superficie das estrelas, que absorverão o calor mais depressa do que o podem

libertar. Por outras palavras, as estrelas provavelmente desintegrar-se-ão e dispersar-se-ão em nuvens de gás muito quente.

A vida inteligente, nestas circunstâncias, morrerá inevitavelmente, abrasada pelo calor cósmico que emana das estrelas e das galáxias vizinhas. Não há salvação. Como Freeman Dyson escreveu: «Infelizmente, tenho de concordar que, neste caso, não temos salvação. Mesmo que nos escondamos nas profundezas da Terra, para nos protegermos da radiação de fundo com desvio para o azul, apenas podemos adiar por alguns anos o nosso miserável fim.»[4]

Se o Universo está destinado a um big crunch, então a questão que resta é saber se ele pode colapsar e depois ressaltar como acontece com o Universo oscilante. Este foi o cenário adaptado no romance Tau Zero de Paul Anderson. Se o Universo fosse newtoniano, isto seria possível, se houvesse suficiente movimento lateral quando as galáxias fossem comprimidas umas contra as outras. Neste caso, as estrelas talvez

não fossem comprimidas num único ponto, mas talvez atingissem um ponto de compressão máxima e então ressaítassem sem colidirem umas com as outras.

O Universo, contudo, não é newtoniano: obedece às equações de Einstein. Roger Penrose e Stephen Hawking mostraram que, em circunstâncias muito gerais, um conjunto de galáxias que sofrem colapso será necessariamente comprimido numa singularidade. (Isto porque o movimento lateral das galáxias está associado a energia e, por isso, interage com a gravidade. Assim, o impulso gravitacional na teoria de Einstein é muito maior do que o da teoria newtoniana relativamente a universos que sofrem colapso, colapsando o Universo num único ponto.)

AS CINCO FASES DO UNIVERSO

Contudo, dados recentes do satélite WMAP favorecem a hipótese do big freeze. Para analisar a história do Universo, cientistas como Fred Adams e Greg Laughlin, da Universidade de Michigan, tentaram dividir a idade do Universo

em cinco fases distintas. Uma vez que estamos a lidar com escalas de tempo verdadeiramente astronómicas, adaptaremos um sistema de tempo logarítmico. Assim, 1020 anos serão representados por 20. (Este calendário foi estabelecido antes das implicações do Universo em aceleração terem sido completamente estudadas. Mas a análise geral das fases do Universo é a mesma.)

A questão que nos preocupa é a seguinte: pode a vida inteligente usar o seu engenho para sobreviver de alguma forma ao longo destas fases, através de uma série de catástrofes naturais e até mesmo da morte do Universo?

Fase 1: Era Primordial

Na primeira fase (entre -50 e 5, ou seja, entre 10-50 e 105 segundos), o Universo sofreu uma expansão rápida, mas também arrefeceu muito depressa. À medida que arrefecia, as várias forças, que outrora estavam unidas numa «superforça» superior, separaram-se gradualmente, produzindo as quatro forças hoje conhecidas. A gravidade separou-se primeiro, a seguir a força

nuclear forte e, finalmente, a força nuclear fraca. No princípio, o Universo era opaco e o céu era branco, uma vez que a luz foi absorvida pouco depois de ter sido criada. Mas 380 000 anos depois do big bang, o Universo arrefeceu o suficiente para que os átomos se formassem sem serem esmagados pelo intenso calor. O céu tomou-se negro. A radiação do fundo de micro-ondas data deste período.

Durante esta era, o hidrogénio primordial fundiu-se em hélio, criando a actual mistura de combustível estelar que se espalhou no Universo. Nesta fase da evolução do Universo, a vida, tal como a conhecemos, era impossível. O calor era demasiado intenso; qualquer ADN ou outras moléculas autocatalíticas que se formassem teriam sido dissociadas por colisões aleatórias com outros átomos, tomando impossíveis as substâncias químicas estáveis que constituem a vida.

Fase 2: Era Estelar

Actualmente, vivemos na segunda fase (entre 6 e 14 ou entre 106 e 1O14 segundos), quando o

gás hidrogénio foi comprimido e as estrelas se acenderam iluminando os céus. Nesta era, encontramos estrelas ricas em hidrogénio que brilharam continuamente durante milhares de milhões de anos até esgotarem o seu combustível nuclear. O telescópio espacial Hubble fotografou estrelas em todas as fases da sua evolução, incluindo estrelas jovens rodeadas por um disco rodopiante de poeira e de destroços, provavelmente o predecessor dos planetas e de um sistema solar.

Nesta fase, as condições são ideais para a criação do ADN e da vida. Dado o enorme número de estrelas no Universo visível, os astrónomos tentaram apresentar argumentos plausíveis, baseados nas leis científicas conhecidas, para o aparecimento de vida inteligente noutros sistemas planetários. Mas qualquer forma de vida inteligente teria de enfrentar muitas dificuldades cósmicas, muitas delas resultantes da sua própria actividade, como a poluição ambiental, o aquecimento global e as armas nucleares. Pressupondo que a vida inteligente não se destruiu a si própria,

deveremos admitir que teve de enfrentar uma série terrível de catastróficos desastres naturais.

Numa escala de tempo de dezenas de milhares de anos, pode haver uma Idade do Gelo, semelhante à que sepultou a América do Norte debaixo de quase um quilómetro de gelo, tomando impossível a civilização humana. Até há 1O 000 anos, os seres humanos viviam como lobos em alcateias, pilhando alimentos em tribos pequenas e isoladas. Não havia acumulação de conhecimento ou ciência. Não havia escrita. A humanidade apenas se preocupava com um objectivo: a sobrevivência. Então, por razões que ainda não compreendemos, a Idade do Gelo terminou e os humanos começaram a rápida ascensão do gelo para as estrelas. Contudo, este breve período interglaciário não durou para sempre. Talvez dentro de outros 1O 000 anos outra Idade do Gelo venha a cobrir a maior parte do mundo. Os geólogos acreditam que os efeitos das pequenas variações da rotação da Terra em tomo do seu eixo acabam por aumentar,

permitindo que as correntes frias das calotes polares desçam para latitudes inferiores cobrindo a Terra de gelo. Nessa altura, talvez tenhamos de nos refugiar no subsolo para preservar o calor. A Terra foi outrora completamente coberta de gelo, o que pode voltar a acontecer.

Numa escala de tempo de milhares de milhões de anos, devemos preparar-nos para impactos de meteoros e de cometas. Muito provavelmente foi o impacto de um meteoro ou de um cometa que destruiu os dinossáurios há 65 milhões de anos. Os cientistas acreditam que um objecto extraterrestre, talvez com menos de 6 quilómetros de diâmetro, mergulhou na Península do Iucatão, no México, abrindo uma cratera de 300 quilómetros de diâmetro e lançando na atmosfera destroços suficientes para tapar a luz do Sol e escurecer a Terra, causando temperaturas glaciais e matando a vegetação e a forma de vida dominante na Terra nesse tempo, os dinossáurios. Em menos de um ano, os dinossáurios e a maior parte das espécies da Terra pereceram.

A julgar pela taxa dos impactos passados, há a probabilidade de 1 em 100.000 de um impacto de um asteróide nos próximos cinquenta anos, que causará danos em todo o mundo. A hipótese de um impacto maior ao longo de milhões de anos provavelmente cresce quase cem por cento. (No sistema solar interior, onde a Terra se situa, há talvez 1.000 a 1.500 asteróides com um quilómetro ou mais de diâmetro e um milhão de asteróides com 50 ou mais metros de diâmetro. As observações de asteróides afluem ao Smithsonian Astrophysical Observatory, em Cambridge, à taxa de cerca de 15.000 por dia. Felizmente, apenas 42 asteróides conhecidos têm uma probabilidade pequena, mas não nula, de colidir com a Terra. No passado, houve alguns alarmes falsos a respeito destes asteróides, sendo o mais famoso o que envolveu o asteróide 1997XF11, que os astrónomos erradamente previram que podia atingir a Terra dentro de 30 anos, dando origem a notícias em todo o mundo. Mas, examinando cuidadosamente a órbita de um asteróide chamado

1950DA, os cientistas calcularam que há apenas uma probabilidade mínima -mas diferente de zero -de que atinja a Terra em 16 de Março de 2880. As simulações computacionais feitas na Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, mostraram que, se este asteróide cair no oceano, provocará uma onda de maré de 122 metros de altura que inundará a maior parte das áreas costeiras, que ficarão devastadas.)[5]

Numa escala de milhares de milhões de anos, temos de nos preocupar com a possibilidade de o Sol engolir a Terra. O Sol hoje já é 30% mais quente do que era na sua infância. Estudos feitos em computador mostraram que, dentro de 3,5 mil milhões de anos, o Sol será 40% mais brilhante do que é hoje, o que significa que a Terra aquecerá gradualmente. O Sol parecerá cada vez maior no céu diurno, até encher a maior parte do céu de horizonte a horizonte. A curto prazo, as criaturas vivas, tentando desesperadamente escapar ao calor de fogo do Sol, podem ser forçadas a recuar para o oceano, invertendo a marcha

histórica da evolução neste planeta. Finalmente, os próprios oceanos entrarão em ebulição tornando impossível a vida tal como a conhecemos. Dentro de cerca de 5 mil milhões de anos, o núcleo do Sol esgotará a sua reserva de gás hidrogénio e transformar-se-á numa estrela gigante vermelha. Algumas gigantes vermelhas são tão grandes que podiam engolir Marte, se estivessem localizadas na posição do nosso Sol. Contudo, é provável que o nosso Sol se expanda apenas até atingir o tamanho da órbita da Terra, devorando Mercúrio e Vénus e fundindo as montanhas da Terra. Assim, é mais provável que a Terra morra no fogo do que no gelo, deixando uma escória queimada orbitando o Sol.

Alguns físicos argumentaram que, antes de isto ocorrer, deveremos ser capazes de usar tecnologias avançadas para deslocar a Terra para uma órbita maior em volta do Sol, se não tivermos emigrado da Terra para outros planetas em arcas espaciais gigantescas. «Como a inteligência humana aumenta a um ritmo superior ao do

brilho do Sol, a Terra pode prosperarn,[6] observa o astrónomo e escritor Ken Croswell.

Os cientistas propuseram várias maneiras de deslocar a Terra da sua órbita actual em volta do Sol. Uma maneira simples seria desviar cuidadosamente um conjunto de asteróides da cintura de asteróides de modo a orbitarem a Terra. Este efeito de catapulta daria um impulso à órbita da Terra, aumentando a sua distância ao Sol. Cada impulso apenas moveria a Terra incrementalmente, mas haveria muito tempo para deslocar centenas de asteróides, para realizar este feito. «Durante vários milhares de milhões de anos antes de o Sol se transformar numa gigante vermelha, os nossos descendentes poderão capturar uma estrela errante numa órbita solar e, em seguida, catapultar a Terra da sua órbita solar para uma órbita em volta da nova estrela»[7] acrescenta Croswell.

O nosso Sol terá um destino diferente do da Terra; morrerá no gelo e não no fogo. Finalmente, depois de queimar hélio durante 700

milhões de anos como uma gigante vermelha, o Sol esgotará a maior parte do seu combustível nuclear e a gravidade comprimi-lo-á numa anã branca de tamanho aproximado ao da Terra. O nosso Sol é demasiado pequeno para sofrer a catástrofe chamada supemova e transformar-se num buraco negro. Depois de o nosso Sol se transformar numa estrela anã branca, acabará por arrefecer, ganhando então uma cor vermelha desbotada, depois castanha e, finalmente, preta. Andará à deriva no vazio cósmico como um bocado de cinza nuclear. No futuro, quase todos os átomos que vemos à nossa volta, incluindo os átomos do nosso corpo e do dos nossos amigos, soprarão centelhas que orbitam uma estrela anã preta. Como esta estrela anã pesará apenas 0,55 massas solares, o que restar da Terra entrará numa órbita que estará cerca de 70% mais distante do que hoje.[8]

Nesta escala, vemos que o florescimento de plantas e de animais na Terra durará apenas um simples milhar de milhões de anos (e hoje já

estamos a meio caminho desta idade de ouro). «A Mãe Natureza não foi concebida para nos fazer felizes»,[9] diz o astrónomo Donald Brownlee. Comparativamente à duração da vida de todo o Universo, o florescimento da vida dura apenas um breve instante do tempo.

Fase 3: Era Degenerada

Na terceira fase (entre 15 e 39), a energia das estrelas do Universo acabará por se esgotar. O processo aparentemente eterno de queimar hidrogénio e hélio chegará ao fim, deixando para trás pedaços de matéria nuclear morta na forma de estrelas anãs, estrelas de neutrões e buracos negros. As estrelas deixarão de brilhar nos céus; o Universo mergulhará gradualmente na escuridão.

As temperaturas descerão drasticamente na terceira fase, enquanto as estrelas perdem os seus motores nucleares. Qualquer planeta que circule em tomo de uma estrela morta congelará. Pressupondo que a Terra ainda está intacta, o que resta da sua superfície transformar-se-á num

lençol de gelo, obrigando as formas de vida inteligente a procurar um novo lar.

Enquanto as estrelas gigantes podem durar alguns milhões de anos e as estrelas que, como o nosso Sol, queimam hidrogénio podem durar milhares de milhões de anos, as pequenas estrelas anãs vermelhas podem arder durante biliões de anos. É por isso que tentar recolocar a órbita da Terra em volta de uma estrela anã vermelha teoricamente faz sentido. A estrela mais próxima da Terra, a Proxima Centauri, é uma estrela anã vermelha que fica apenas a 4,3 anos-luz da Terra. A nossa vizinha mais próxima pesa apenas 15% da massa do Sol e é quatrocentas vezes mais baça do que o Sol, e por isso qualquer planeta que a orbite teria de estar extremamente perto para beneficiar da sua fraca luz. A Terra teria de orbitar esta estrela vinte vezes mais perto do que actualmente está do Sol para receber a mesma quantidade de luz. Mas, uma vez em órbita em tomo de uma anã vermelha, um planeta teria energia para durar biliões de anos.

Finalmente, as únicas estrelas que continuarão a consumir combustível nuclear serão anãs vermelhas. Com o tempo, no entanto, tomarse-ão escuras. Passada uma centena de biliões de anos, as restantes anãs vermelhas acabarão por morrer.

Fase 4: Era dos Buracos Negros

Na quarta fase (entre 40 e 100), a única fonte de energia será a evaporação lenta de energia dos buracos negros. Como Jacob Bekenstein e Stephen Hawking mostraram, os buracos negros não são, de facto, negros; na realidade, radiam uma pequena quantidade de energia, por «evaporação». (Na prática, esta evaporação do buraco negro é muito pequena para ser experimentalmente observada, mas, em escalas de tempo longo, uma evaporação determina o destino final de um buraco negro.)

A evaporação dos buracos negros pode ter várias durações de vida. Um miniburaco negro do tamanho de um protão pode radiar 1O mil milhões de watts de potência durante a vida do sistema solar.[10] Um buraco negro pesando tanto

como o Sol levará 10^{66} anos a evaporar. Um buraco negro que pese tanto como um aglomerado galáctico levará 10^{117} anos a evaporar-se. Contudo, quando um buraco negro se aproxima do fim da sua duração de vida, explode subitamente depois de escoar lentamente a radiação. É possível que a vida inteligente, como os semabrigo que se chegam às cinzas ainda quentes, se reúna em volta do fraco calor emitido pela evaporação dos buracos negros, para extrair deles um pouco de calor, até se evaporarem.

Fase 5: Era Escura

Na quinta fase (para além de 101), entramos na era escura do Universo, quando todas as fontes de calor se esgotarem. Nesta fase, o Universo caminha lentamente para a morte pelo frio, quando a temperatura se aproxima do zero absoluto. Neste ponto, os átomos quase param. Talvez até os próprios protões decaiam, deixando um mar de fotões à deriva e um fino caldo de partículas de interacção fraca (neutrinos, electrões e as suas antipartículas, os positrões). O

Universo pode consistir num novo tipo de «átomo» chamado positrónio, que consiste em electrões e positrões que circulam em redor uns dos outros.

Alguns físicos especularam que estes «átomos» de electrões e antielectrões podem formar novos blocos constituintes de vida inteligente nesta era escura. No entanto, esta ideia levanta enormes dificuldades. Um átomo de positrónio é comparável em tamanho a um átomo comum. Mas um átomo de positrónio na era escura terá cerca de 10^{12} megaparsecs de diâmetro, sendo milhões de vezes maior do que o Universo hoje observável. Assim, nesta era escura, embora estes «átomos» se possam formar, serão do tamanho de um Universo inteiro. Como o Universo durante a era negra se terá expandido para distâncias enormes, seria fácil acomodar estes átomos gigantescos de positrónio. Mas o facto de estes átomos de positrónio serem tão grandes significa que qualquer «química» que envolva estes

«átomos» estará em escalas colossais de tempo totalmente diferentes de tudo o que conhecemos.

Como o cosmólogo Tony Rothman escreveu: «E assim, finalmente, ao fim de $1O^{117}$ anos, o cosmos consistirá em alguns electrões e positrões encerrados nas suas órbitas, em neutrinos e fotões deixados pelo decaimento dos bariões, em protões errantes que restam da aniquilação do positrónio e em buracos negros. Isto também está escrito no Livro de Destino».[11]

A INTELIGÊNCIA PODE SOBREVIVER?

Dadas as condições extremas do fim do big-freeze, os cientistas têm debatido se qualquer forma de vida inteligente poderá sobreviver. Em primeiro lugar, parece desinteressante discutir a sobrevivência da vida inteligente na quinta fase, quando as temperaturas se aproximam do zero absoluto. No entanto, actualmente os físicos debatem calorosamente a possibilidade de sobrevivência da vida inteligente.

O debate centra-se em duas questões chave. A primeira é: podem os seres inteligentes operar as suas máquinas, quando as temperaturas se aproximam do zero absoluto? Segundo as leis da termodinâmica, uma vez que a energia flui de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa, este movimento de energia pode ser utilizado para trabalho mecânico útil. Por exemplo, o trabalho mecânico pode ser extraído por um motor que conecta duas regiões com temperaturas diferentes. Quanto maior for a diferença de temperatura, maior será a eficiência do motor. Esta é a base de toda a mecânica que a Revolução Industrial proporcionou, como a máquina a vapor e a locomotiva. Em primeiro lugar, parece impossível extrair qualquer trabalho de uma máquina térmica na quinta fase, uma vez que as temperaturas são todas iguais.

A segunda questão é: pode uma forma de vida inteligente enviar e receber informação? De acordo com a teoria da informação, a unidade mais pequena que pode ser enviada e recebida é

proporcional à temperatura. Quando a temperatura se aproxima do zero absoluto, a capacidade de processar informação também é severamente diminuída. Os bits de informação que podem ser transmitidos quando o Universo arrefece têm de ser cada vez mais pequenos.

O físico Freeman Dyson e outros reanalisaram a física da vida inteligente que luta pela sobrevivência num Universo moribundo. Podem ser encontradas, perguntam eles, maneiras engenhosas para que a vida inteligente sobreviva em temperaturas muito próximas do zero absoluto?

Quando a temperatura do Universo começa a baixar, de início as criaturas vão tentar descer a temperatura do seu corpo através da engenharia genética. Deste modo, vão usar a reserva de energia reduzida de uma maneira muito mais eficiente. Mas, finalmente, a temperatura dos corpos atingirá o ponto de congelamento da água. Neste tempo, os seres inteligentes podem ter de abandonar os seus corpos frágeis de carne e sangue e ocupar corpos robóticos. Os corpos mecânicos

podem resistir ao frio muito melhor do que a carne. Mas as máquinas também têm de obedecer às leis da teoria da informação e da termodinâmica, tomando a vida extremamente dificil mesmo para os robôs.

Ainda que as criaturas inteligentes abandonem os seus corpos robóticos e se transformem em consciência pura, resta o problema do processamento da informação. À medida que a temperatura continua a descer, a única maneira de sobreviver será «pensam mais devagar. Dyson conclui que uma forma de vida engenhosa ainda será capaz de pensar durante uma quantidade indefinida de tempo prolongando o tempo necessário para processar informação ou hibernando para conservar a energia. Embora o tempo físico necessário para pensar e processar informação possa ser prolongado por milhares de milhões de anos, o «tempo subjectivo», tal como é visto pelas criaturas inteligentes, permanecerá o mesmo. Nunca darão pela diferença. Ainda serão capazes de ter pensamentos profundos, mas

apenas numa escala de tempo muito mais lenta. Dyson conclui, numa observação estranha mas optimista, que, desta maneira, a vida inteligente será capaz de processar informação e de «pensam indefinidamente. Processar um único pensamento pode levar triliões de anos, mas na perspectiva do «tempo subjectivo»; o pensamento processar-se-á normalmente.

Mas se as criaturas inteligentes pensarem mais lentamente, talvez consigam presenciar as transições quânticas cósmicas que ocorrem no Universo. Normalmente, transições cósmicas, como a criação de Universos bebé ou a transição para outro Universo quântico ocorrem ao longo de triliões de anos e, por isso, são puramente teóricas. No entanto, na quinta fase, triliões de anos de «tempo subjectivo» serão comprimidos e para essas criaturas podem parecer apenas alguns segundos; pensarão tão lentamente que podem ver eventos quânticos bizarros a cada passo. Podem assistir regularmente ao aparecimento de

universos bolha a partir do nada ou a saltos quânticos em universos alternativos.

Mas à luz da recente descoberta de que o Universo está em aceleração, os físicos reexaminaram o trabalho de Dyson, o que suscitou um novo debate que chegou a conclusões opostas - num Universo em aceleração a vida inteligente perecerá necessariamente. Os físicos Lawrence Krauss e Glenn Starkman concluíram: «Há milhares de milhões de anos o Universo era demasiado quente para que existisse a vida. Mas, a eões sem conta, tornar-se-á tão frio e vazio que a vida, por mais engenhosa que seja, deixará de existir.»[12]

No seu trabalho original, Dyson supôs que a radiação de micro-ondas de 2,7 K no Universo continuaria a descer indefinidamente, pelo que os seres inteligentes podem extrair trabalho útil destas pequenas diferenças de temperatura. Enquanto a temperatura continuar a descer, pode ser sempre extraído trabalho útil. Contudo, Krauss e Starkman sublinham que, se o Universo tem uma

constante cosmológica, então as temperaturas não descerão para sempre, como Dyson pressupôs, mas acabarão por atingir um limite inferior, a temperatura de GibbonsHawking (cerca de 10-29 K). Uma vez alcançada esta temperatura, a temperatura de todo o Universo será uniforme e os seres inteligentes não serão capazes de extrair energia útil pela exploração das diferenças de temperaturas. Quando o Universo atingir uma temperatura uniforme, cessará todo o processamento de informação.

(Na década de 1980, descobriu-se que alguns sistemas quânticos, como o movimento browniano num fluido, podem servir como a base de um computador, mesmo que a temperatura no exterior seja muito baixa. Assim, se a temperatura diminuir, estes computadores poderão continuar a fazer cálculos usando cada vez menos energia. Eram boas notícias para Dyson. Mas havia um problema. O sistema tem de satisfazer duas condições: tem de permanecer em equilíbrio com o seu meio e nunca pode perder informação. Mas,

se o Universo se expande, o equilíbrio é impossível, porque a radiação se dilui e o seu comprimento de onda se alonga. Um Universo em aceleração muda muito rapidamente para que o sistema retome o equilíbrio. A segunda condição, a exigência de nunca perder informação, significa que um ser inteligente não pode esquecer nada. Finalmente, um ser inteligente, incapaz de perder velhas recordações, pode reviver velhas memórias várias vezes. «A eternidade seria uma prisão em vez de ser um horizonte de criatividade e de exploração em regressão infinita. Pode ser a nirvana, mas estaria vivo?»[13] perguntam Krauss e Starkman.)

Em resumo, verificamos que, se a constante cosmológica estiver próxima do zero, a vida inteligente poderá «pensam indefinidamente à medida que o Universo arrefece, hibernando e pensando mais lentamente. Mas num Universo em aceleração como o nosso, isso é impossível. Toda a vida inteligente está condenada a perecer, de acordo com as leis da física.

Do ponto de vista desta perspectiva cósmica, verificamos que as condições para a vida tal como a conhecemos não são senão um episódio transitório de uma tapeçaria muito maior. Há apenas uma pequena janela onde as temperaturas são «as exactas» para albergar a vida, nem demasiado altas nem demasiado baixas.

ABANDONAR O UNIVERSO

A morte pode ser definida como o fim do processamento de toda a informação. Quando as espécies inteligentes do Universo começarem a compreender as leis fundamentais da física, serão obrigadas a confrontar-se com a morte definitiva do Universo e de qualquer vida inteligente que ele possa albergar.

Felizmente, há muito tempo para reunir energia para essa viagem e há alternativas, como veremos no próximo capítulo. A questão que vamos explorar é: as leis da física permitirão a nossa fuga do Universo para um Universo paralelo?

CAPÍTULO ONZE
Fugir do Universo

Qualquer tecnologia suficientemente avançada confunde-se com magia.
Arthur C. Clarke

NO ROMANCE EON, o autor de ficção científica Greg Bear narra uma história horrível sobre a fuga de um mundo devastado para um Universo paralelo. Um meteoro colossal e ameaçador vindo do espaço aproximou-se do planeta Terra, causando a histeria e o pânico colecti vos. Contudo, em vez de colidir com a

Terra, desenvolve uma estranha órbita em tomo do planeta. São enviadas para o espaço equipas de cientistas, para investigar. No entanto, em vez de encontrarem uma superficie desolada e sem vida, descobrem que o asteróide é, na realidade, oco; é uma enorme nave espacial abandonada por uma raça tecnológica superior. Dentro da nave espacial abandonada, a heroína do livro, uma física teórica chamada Patrícia Vasquez, encontra sete enormes câmaras, que dão acesso a mundos diferentes com lagos, florestas, árvores e cidades inteiras. Em seguida, encontra enormes bibliotecas que contêm a história completa destas estranhas pessoas.

Pegando num velho livro, verificou que era o Tom Sawyer de Mark Twain, mas numa nova edição de 211O. Compreendeu que o asteróide não provinha de nenhuma civilização alienígena, mas da própria Terra, a 1300 anos no futuro. Compreendeu então a triste verdade: estes velhos registos falam de uma antiga guerra nuclear que deflagrou no passado distante, matando milhares

de milhões de pessoas, provocando um Inverno nuclear que matou ainda mais milhares de milhões de pessoas. Ao averiguar a data desta guerra nuclear, fica chocada quando descobre que está apenas a duas semanas no futuro! Ela tem esperança de evitar essa inevitável guerra que, em breve, consumirá todo o planeta, matando os seus entes queridos.

Misteriosamente, localiza a sua própria história pessoal nesses velhos registos e descobre que a sua investigação futura sobre o espaçotempo poderá ajudar a preparar os fundamentos de um vasto túnel no asteróide, chamado a Via, que permitirá que as pessoas deixem o asteróide e entrem noutros universos. As suas teorias provaram que há um número infinito de universos quânticos, que representam todas as realidades possíveis. Além disso, as suas teorias tomam possível a construção de portais ao longo da Via para entrar nestes universos, cada um com uma história alternativa diferente. Finalmente, entra no túnel, desce pela Via e encontra as

pessoas que fugiram do asteróide, os seus descendentes.

É um mundo estranho. Séculos antes, as pessoas abandonaram a forma estritamente humana e podem agora assumir várias formas e corpos. Mesmo as pessoas há muito mortas têm as suas memórias e personalidades armazenadas em bancos de dados e podem ser restituídas à vida. Podem ressuscitar e podem ser carregadas várias vezes em novos corpos. Os implantes colocados nos seus corpos dão-lhes acesso a informação quase infinita. Embora estas pessoas possam ter quase tudo o que desejam, no entanto, a nossa heroína sente-se infeliz e abandonada neste paraíso tecnológico. Perdeu a família, o namorado, a sua Terra. Tudo foi destruído pela guerra nuclear. Finalmente, é-lhe concedida permissão para perscrutar os múltiplos universos que estão ao longo da Via, em busca de uma Terra paralela onde não houve guerra nuclear e os seus entes queridos ainda estão vivos. Acaba por encontrar uma Terra onde se instala. (Infelizmente, comete

um pequeno erro matemático; vai parar a um Universo em que o império egípcio ainda não foi derrubado. Passa o resto da sua vida a tentar sair desta Terra paralela, para encontrar o seu verdadeiro lar).

Embora o portão dimensional discutido em Eon seja pura ficção, levanta uma questão interessante que nos diz respeito: pode uma pessoa refugiar-se num Universo paralelo, no caso de as condições do seu Universo se tomarem intoleráveis?

A desintegração final do nosso Universo numa mistura sem vida de electrões, neutrinos e fotões parece significar a destruição definitiva de toda a vida inteligente. Numa escala cósmica, vemos quão frágil e transitória é a vida. A era em que a vida pode florescer está concentrada numa banda muito estreita, um período transitório da vida das estrelas que iluminam o céu noctumo. Parece impossível que a vida continue à medida que o Universo envelhece e arrefece. As leis da física e da termodinâmica são muito claras: se a

expansão do Universo continuar a acelerar de um modo rápido, a inteligência, tal como a conhecemos, não poderá sobreviver. Mas, se a temperatura do Universo continuar a descer ao longo de eões, poderá uma civilização avançada tentar salvar-se? Reunindo toda a sua tecnologia e a tecnologia de quaisquer outras civilizações que possam existir no Universo, será possível escapar à inevitabilidade do bigfreeze?

Como a taxa a que evoluem as diversas fases do Universo se mede em milhares de milhões a biliões de anos, o tempo de que uma civilização inteligente e industriosa dispõe para enfrentar estes desafios é muito grande. Embora seja pura especulação imaginar que espécie de tecnologia pode uma civilização avançada desenvolver para prolongar a sua existência, podemos recorrer às leis conhecidas da física para analisar o vasto leque de opções que podem estar ao nosso alcance daqui a milhares de milhões de anos. A Física não nos pode dizer que planos específicos uma civilização avançada pode adoptar, mas pode

dizer-nos qual é a gama de parâmetros que possibilitam essa fuga.

Para um engenheiro, o problema principal para abandonar o Universo é saber se temos recursos suficientes para construir uma máquina que possa executar essa façanha tão dificil. Mas, para um físico, o problema principal é diferente: antes de mais, é preciso saber se as leis da física permitem a existência destas máquinas. Os físicos querem uma «prova de princípio» - nós queremos mostrar que, se dispusermos de tecnologia suficientemente avançada, será possível escapar para outro Universo, de acordo com as leis da física. Se temos ou não recursos suficientes é um pormenor prático menor que tem de ser deixado às civilizações a milhares de milhões de anos no futuro, quando tiverem de enfrentar o bigfreeze.

De acordo com o astrónomo real Sir Martin Rees, «Buracos de verme, dimensões extra e computadores quânticos abrem cenários

especulativos que podem transformar todo o nosso Universo num 'cosmos vivo'».[1]

CIVILIZAÇÕES DE TIPO I, II e III

Para compreender a tecnologia de civilizações daqui a milhares de milhões de anos, os físicos, por vezes, classificam as civilizações de acordo com o consumo de energia e com as leis da termodinâmica. Quando perscrutam os céus em busca de sinais de vida inteligente, os físicos não procuram homenzinhos verdes, mas civilizações com output de energia das civilizações do tipo I, II e III. A classificação foi introduzida pelo físico russo Nikolai Kardashev na década de 1960, para classificar os sinais de rádio provenientes de possíveis civilizações no espaço exterior. Cada tipo de civilização emite uma forma característica de radiação que pode ser medida e catalogada. (Mesmo uma civilização avançada que tente ocultar a sua presença pode ser detectada pelos nossos instrumentos. Pela segunda lei da termodinâmica, qualquer civilização

avançada pode criar entropia na forma de perdas de calor que inevitavelmente flutuará no espaço exterior. Mesmo que tente ocultar a sua presença, é impossível esconder o brilho fraco criado pela sua entropia).

Uma civilização de tipo I utiliza formas planetárias de energia. O seu consumo de energia pode ser medido com precisão: por definição, é capaz de utilizar a quantidade total de energia solar que chega ao seu planeta, ou seja, 10^{16} W. Com esta energia planetária, pode controlar ou modificar as condições climáticas, mudar o curso dos furacões ou construir cidades no oceano. Tais civilizações são verdadeiramente senhoras do seu planeta e criaram uma civilização planetária.

Uma civilização de tipo II esgotou a potência de um único planeta e utiliza a potência de uma estrela inteira, ou seja, aproximadamente 10^{26} W. É capaz de consumir toda a energia da sua estrela e, provavelmente, pode controlar a luz solar e acender outras estrelas.

Uma civilização de tipo III esgotou a potência de um único sistema solar e colonizou largas porções da sua galáxia. Esta civilização é capaz de utilizar a energia de 1O mil milhões de estrelas, ou seja, aproximadamente 10^{36} W.

Cada tipo de civilização difere do tipo imediatamente inferior por um factor de 1O mil milhões. Por conseguinte, uma civilização do tipo III, utilizando a potência de milhares de milhões de sistemas de estrelas, pode usar 1O mil milhões de vezes a energia de uma civilização do tipo II, que, por sua vez, utiliza 1O mil milhões de vezes a energia de uma civilização do tipo I. Embora o intervalo que separa estas civilizações possa parecer astronómico, é possível estimar o tempo necessário para atingir uma civilização do tipo III. Suponha que a produção de energia de uma civilização cresce a uma taxa moderada de 2 a 3% ao ano. (É uma hipótese plausível, uma vez que o crescimento económico, que pode ser razoavelmente calculado, está directamente relacionado com o consumo de energia. Quanto

maior for a economia, maiores serão as suas necessidades de energia. Uma vez que o crescimento do produto interno bruto, ou PIB, de muitas nações se situa entre 1 e 2% ao ano, podemos esperar que o consumo de energia cresça sensivelmente à mesma taxa).

A esta modesta taxa, podemos estimar que a nossa civilização poderá atingir o estado do tipo I daqui a 100 a 200 anos, aproximadamente. Serão necessários 1.000 a 5.000 anos para atingirmos o estado do tipo II e talvez 100.000 a 1.000.000 de anos para atingirmos o estado do tipo III. Numa escala como esta, a nossa civilização actual pode ser classificada como uma civilização de tipo O, porque obtemos a nossa energia de plantas mortas (petróleo e carvão). O simples controlo de um furacão, que pode libertar uma potência equivalente a centenas de armas nucleares, não está ao alcance da nossa tecnologia.

Para descrever a nossa civilização actual, o astrónomo Carl Sagan preconizou a criação de graduações mais precisas entre os tipos de

civilizações. As civilizações do tipo I, II e III, como vimos, geram uma produção total de energia de aproximadamente $1O^{16}$, 10^{26} e 10^{36} W, respectivamente. Sagan introduziu uma civilização do tipo I.1, por exemplo, que gera 10^{17} W de potência, uma civilização do tipo I.2 que gera 10^{18} W, e assim sucessivamente. Dividindo cada tipo I em dez subtipos mais pequenos, podemos começar a classificar a nossa própria civilização. Nesta escala, a nossa civilização presente é mais uma civilização de tipo 0,7 - a uma distância enorme de ser verdadeiramente planetária. (Uma civilização de tipo 0,7 é ainda mil vezes menor do que uma do tipo I, do ponto de vista da produção de energia.)

Embora a nossa civilização ainda seja muito primitiva, já podemos vislumbrar sinais de uma transição. Quando vejo as manchetes dos jornais, estou constantemente a ver indicadores desta evolução histórica. De facto, sinto-me privilegiado por estar vivo para a presenciar:

** A Internet é um sistema telefónico de um tipo I emergente. Tem a capacidade de se tomar a base de uma rede de comunicação planetária universal.*

** A economia da sociedade de tipo I será dominada não pelas nações, mas por grandes blocos económicos que reúnem a União Europeia, que se formou devido à competição com a NAFTA (os países da América do Norte).*

** A linguagem da nossa sociedade do tipo I será provavelmente o inglês, que já é a segunda língua dominante na Terra. Hoje, em muitos países do Terceiro Mundo, as classes superiores, educadas em colégios, tendem a falar inglês além da língua local. Toda a população de uma civilização do tipo I pode ser bilingue, falando uma língua local e uma língua planetária.*[2]

** As nações, embora seja provável que continuem a existir de alguma forma*

nos séculos vindouros, tomar-se-ão menos importantes, à medida que as barreiras económicas caírem e o mundo se tomar mais interdependente sob o ponto de vista económico. (As nações modernas, em parte, foram originariamente formadas pelos capitalistas e por aqueles que queriam uma moeda comum, fronteiras comuns, impostos e leis comuns, para facilitar a economia. Como a economia tende a internacionalizar-se, as fronteiras nacionais tomar-se-ão menos relevantes.) Nenhuma nação sozinha é suficientemente poderosa para impedir a sua marcha para uma civilização do tipo I.

** As guerras provavelmente existirão sempre, mas a natureza da guerra mudará com a emergência de uma classe média planetária mais interessada no turismo e na acumulação de riqueza e de recursos do que em dominar outros povos e*

controlar mercados ou regiões geográficas.

** A poluição será cada vez mais combatida a uma escala planetária. Os gases com efeito de estufa, a chuva ácida, os incêndios das florestas tropicais e outros fenómenos semelhantes não respeitam fronteiras nacionais e haverá pressão por parte das nações vizinhas para que os transgressores obedeçam a certas leis ou padrões de comportamento. Os problemas globais do ambiente exigem, a curto prazo, soluções globais.*

** A diminuição gradual de recursos (peixe, cereais, água), devido ao excesso de cultivo e de consumo, aumentará a pressão para gerir os nossos recursos numa escala global, de modo a evitar a fome e o colapso.*

** A informação será quase livre, promovendo uma sociedade muito mais democrática, permitindo que aqueles que*

não têm direito ao voto ganhem uma voz nova, e pressionando os ditadores.

Estas forças estão para além do controlo de qualquer indivíduo ou nação isolados. A Internet não pode ser eliminada. De facto, qualquer movimento nesse sentido seria mais objecto de escárnio do que de horror, porque a Internet é o caminho para a prosperidade económica e científica, tal como para a cultura e para o entretenimento.

Mas a transição do tipo 0 para o tipo I também é a mais perigosa, porque ainda manifestamos a selvajaria que caracterizou a nossa vida primitiva nas florestas. Em certo sentido, o avanço da nossa civilização é uma corrida contra o tempo. Por um lado, o avanço para uma civilização planetária do tipo 1pode prometer-nos uma era de paz e de prosperidade sem paralelo. Por outro lado, as forças da entropia (o efeito de estufa, a poluição, a guerra nuclear, o fundamentalismo, a doença) podem dilacerar-nos. Sir Martin Rees vê nestas ameaças - bem como nas que

resultam do terrorismo, dos germes da bioengenharia e de outros pesadelos tecnológicos -alguns dos maiores desafios que a humanidade enfrenta. Segundo ele, temos apenas 50% de probabilidades de êxito neste desafio, o que é preocupante.

Esta pode ser uma das razões pelas quais não vemos civilizações extraterrestres no espaço. Se elas existem de facto, talvez sejam tão avançadas que vêem pouco interesse na nossa primitiva sociedade de tipo 0,7. Em alternativa, talvez tenham sido destruídas pela guerra ou extintas, vítimas da sua própria poluição, quando tentavam alcançar o estado do tipo I (Neste sentido, a geração actual pode ser uma das mais importantes que surgiram à superficie da Terra; pode ser ela a decidir se transitaremos com segurança para uma civilização de tipo I).

Mas, como disse Friedrich Nietzsche, aquilo que não nos mata torna-nos mais fortes. A nossa penosa transição do tipo 0 para o tipo I será certamente uma prova de fogo, em que teremos de enfrentar algumas terríveis situações de perigo. Se

sairmos bem desse desafio, seremos mais fortes, do mesmo modo que bater o aço fundido serve para o tornar mais resistente.

CIVILIZAÇÃO DO TIPO I

Quando uma civilização atinge o estado do tipo I, é pouco provável que alcance imediatamente as estrelas; é mais provável que fique no planeta de origem durante séculos, o tempo suficiente para resolver as paixões nacionalistas, fundamentalistas, raciais e sectárias do seu passado. Os escritores de ficção científica subestimam muitas vezes a dificuldade das viagens espaciais e da colonização do espaço. Hoje, colocar qualquer objecto em órbita próximo da Terra custa 20.000 a 80.000 dólares por quilograma de peso. (Se imaginarmos que John Glenn é de ouro maciço, poderemos avaliar o custo excessivo de uma viagem no espaço.) Cada missão de um vaivém espacial custa mais de 800 milhões de dólares (se considerarmos o custo total do programa espacial e o dividirmos pelo número de missões). É provável que o custo das viagens

espaciais diminua nas próximas décadas, mas apenas por um factor de 10, com o aparecimento de veículos de lançamento reutilizáveis (RLVs) que podem voltar a ser usados depois de completada uma missão. Durante quase todo o século XXI, as viagens no espaço continuarão a ser uma empresa proibitivamente dispendiosa, que só estará ao alcance das nações e dos indivíduos mais ricos.

(Há uma possível excepção: o desenvolvimento de «elevadores espaciais». Os avanços recentes da nanotecnologia tomam possível a produção de filamentos feitos de nanotubos de carbono muito fortes e muito pouco pesados. Em princípio, é possível que se venha a provar que estes filamentos de átomos de carbono são suficientemente fortes para conectar a Terra com um satélite geossíncrono que orbite mais de 32.000 quilómetros acima da Terra. Como Jack e Beanstalk, podemos subir por este nanotubo de carbono para atingir o espaço exterior por uma fracção do custo usual. Historicamente, os

cientistas do espaço menosprezaram os elevadores espaciais, porque a tensão nas cordas seria suficiente para quebrar qualquer fibra conhecida. Contudo, a tecnologia dos nanotubos de carbono pode alterar esta situação. A NASA está a financiar estudos preliminares sobre esta tecnologia e a situação será analisada com rigor ao longo dos próximos anos. No entanto, se se provar que essa tecnologia é possível, um elevador espacial poderia, na melhor das hipóteses, levar-nos numa órbita em volta da Terra, mas não a outros planetas.)

O sonho de estabelecer colónias no espaço deve ser moderado pelo facto de as missões tripuladas à Lua e aos planetas custarem muitas vezes mais do que as missões mais próximas da Terra. Ao contrário das viagens de Colombo e dos primeiros exploradores espanhóis de há séculos, quando o custo de um navio representava uma pequena fracção do produto interno bruto da Espanha e quando as potenciais recompensas económicas eram elevadas, o estabelecimento de

colónias na Lua e em Marte levaria muitas nações à bancarrota, sem a contrapartida de benefícias directos. Uma simples missão tripulada a Marte, que pode custar entre 100 a 500 mil milhões de dólares, apresenta poucas contrapartidas económicas.

De modo análogo, também é preciso considerar o perigo a que estão sujeitos os passageiros humanos. Depois de meio século de experiências, com foguetões de combustível líquido, as hipóteses de um erro catastrófico nas missões espaciais são cerca de uma em setenta. (De facto, as duas trágicas perdas de naves espaciais correspondem a esta proporção.) As viagens no espaço, esquecemos muitas vezes, são diferentes das viagens turísticas. Com tanto combustível volátil e tantas ameaças à vida humana, as viagens espaciais continuarão a ser uma empresa arriscada nas próximas décadas.

Contudo, numa escala de vários séculos, a situação pode alterar-se gradualmente. À medida que o custo das viagens espaciais continuar a

descer lentamente, algumas colónias espaciais podem gradualmente ser possíveis em Marte. Nesta escala de tempo, alguns cientistas propuseram engenhosos mecanismos para «terra-planam Marte, tais como desviar um cometa e deixá-lo evaporar-se na atmosfera, para lhe acrescentar vapor de água. Outros defenderam a injecção de gás metano na atmosfera para criar um efeito de estufa artificial no planeta vermelho, fazendo subir as temperaturas e fundindo gradualmente o subsolo congelado sob a superficie de Marte, enchendo assim os seus lagos e rios pela primeira vez em milhares de milhões de anos. Alguns propuseram medidas mais extremas e perigosas, como detonar uma ogiva nuclear debaixo do solo, por baixo das camadas de gelo, para derreter o gelo (o que podia pôr em perigo a saúde dos futuros colonos do espaço). Mas estas sugestões não passam ainda de especulações.

Mais provavelmente, uma civilização do tipo I entenderia que as colónias espaciais não constituíam uma prioridade nos próximos séculos.

Mas, para missões interplanetárias de grandes distâncias, onde o tempo não é tão premente, o desenvolvimento de um motor solar movido a iões pode oferecer uma nova forma de propulsão entre as estrelas. O impulso gerado por esses motores de movimento lento seria pequeno, mas poderiam manter essa propulsão durante anos, de uma só vez. Estes motores concentram a energia solar proveniente do Sol, aquecem um gás como o césio e depois lançam esse gás como escape, produzindo uma propulsão suave que pode ser mantida quase indefinidamente. Os veículos alimentados por esses motores podem ser ideais para criar um «sistema de grandes auto-estradas» interplanetárias ligando os planetas.

Finalmente, as civilizações do tipo I podem enviar algumas sondas experimentais às estrelas vizinhas. Como a velocidade dos foguetões químicos é limitada pela velocidade máxima dos gases do escape do foguetão, os físicos terão de encontrar formas ainda mais exóticas de propulsão, se quiserem atingir lugares que estão a

centenas de anos-luz de distância. Um projecto possível seria criar um motor de propulsão de fusão, um foguetão que extrai hidrogénio do espaço interestelar e o funde, libertando quantidades ilimitadas de energia durante o processo. Contudo, a fusão protão-protão é muito difícil de atingir mesmo na Terra, quanto mais no espaço exterior numa nave espacial. Tal tecnologia está, na melhor das hipóteses, a um século no futuro.

CIVILIZAÇÃO DO TIPO II

Uma civilização do tipo II capaz de utilizar a potência de uma estrela inteira assemelhar-se-ia a uma versão da Federação dos Planetas da série Star Trek - O Caminho das Estrelas, sem o warp-drive. Colonizaram uma pequena fracção da Via Láctea e podem explodir estrelas e, deste modo, possibilitam a emergência de um estado do tipo II.

Para utilizar completamente a potência do Sol, o físico Freeman Dyson especulou que uma civilização do tipo II podia construir uma esfera gigantesca em volta do Sol, para absorver os seus

raios. Esta civilização podia, por exemplo, desconstruir um planeta do tamanho de Júpiter e distribuir a massa numa esfera à volta do Sol. Devido à segunda lei da Termodinâmica, a esfera acabaria por aquecer, emitindo uma radiação característica de infravermelhos que podia ser vista do espaço exterior. Jun Jugaku, do Research Institute of Civilization, no Japão, e os seus colegas investigaram os céus até à distância de 80 anos-luz para tentar localizar outras civilizações semelhantes e não encontraram provas da existência dessas emissões de infravermelhos[3] (apesar de a nossa galáxia ter 100 mil anos-luz de diâmetro).

Uma civilização do tipo II poderia colonizar alguns dos planetas do seu sistema solar e até mesmo iniciar um programa para desenvolver viagens interestelares. Devido aos vastos recursos de que uma civilização de tipo II pode dispor, potencialmente poderiam desenvolver essas formas exóticas de propulsão como um motor antimatéria-matéria para as suas naves espaciais,

tomando possível viajar a uma velocidade próxima da velocidade da luz. Em princípio, esta forma de energia é 100% energia eficiente. Também é experimentalmente possível, mas proibitivamente dispendiosa para os padrões do tipo I (é necessário um esmagador de átomos para criar feixes de antiprotões que podem ser usados para produzir anti-átomos).

Apenas podemos fazer especulações sobre o funcionamento de uma sociedade do tipo II. Contudo, haveria milénios para resolver questões de propriedade, recursos e potência. Uma civilização do tipo II poderia ser imortal. É provável que, cientificamente, não se conheça nada que possa destruir essa civilização, excepto talvez a insensatez dos próprios habitantes. Os cometas e os meteoros podiam ser desviados, as idades de gelo podiam ser removidas com a alteração dos padrões das condições climáticas, e até a ameaça resultante da explosão de uma supemova vizinha podia ser evitada, bastando para tal abandonar o planeta lar e pôr a civilização a salvo da

destruição - ou ainda, potencialmente, com a alteração do motor termonuclear da própria estrela que morre.

CIVILIZAÇÃO DO TIPO III

Quando uma sociedade atinge o nível de uma civilização do tipo III, pode começar a contemplar as energias fantásticas a que o espaço e o tempo se tomam instáveis. Recordamos que a energia de Planck é a energia em que os efeitos quânticos dominam e o espaço-tempo se transforma em «espuma» com pequenas bolhas e buracos de verme. A energia de Planck está hoje fora do nosso alcance, mas isso só acontece porque julgamos a energia do ponto de vista de uma civilização do tipo 0,7. Quando uma civilização atinge o tipo III, terá acesso (por definição) a energias de 10 mil milhões vezes 10 mil milhões (ou 10^{18} as que se encontram hoje na Terra.

O astrónomo Ian Crawford da University College, em Londres, escreve acerca das civilizações do tipo III: «Supondo uma colónia espacial

típica de 1O anos-luz, uma velocidade da nave de 10% a da luz e um período de 400 anos entre a fundação de uma colónia e a fundação de novas colónias, a vaga de colonização expandir-se-á a uma velocidade média de 0,02 ano-luz por ano. Como a Galáxia tem 100 mil anos-luz de diâmetro, não são necessários mais de 5 milhões de anos para que a colonização esteja completa. Embora seja um tempo muito longo em termos humanos, corresponde apenas a 0,05% da idade da Galáxia.»[4]

Os cientistas fizeram tentativas sérias para detectar emissões de rádio de uma civilização de tipo III no interior da nossa Galáxia. O gigantesco radiotelescópio Aricebo em Porto Rico perscrutou grande parte da galáxia para detectar emissões de rádio em 1,42 GHz, perto da linha de emissão de gás hidrogénio. Não encontrou, nessa banda, provas de quaisquer emissões de rádio de qualquer civilização que emita radiações com uma potência entre 1018 e 1030 W (isto é, do tipo 1.2 ao tipo 11.4)

No entanto, isto não exclui a existência de civilizações tecnologicamente mais avançadas do que a nossa, desde o tipo 0,8 ao tipo 1.1, ou consideravelmente avançadas em relação à nossa, tais como as do tipo 11.5 e superiores.[5]

Também não exclui outras formas de comunicação. Uma civilização avançada, por exemplo, podia enviar mais sinais de laser que de rádio. E se usassem rádio, podiam usar frequências diferentes de 1,42 GHz. Por exemplo, podiam enviar os seus sinais através de muitas frequências e depois reuni-los no terminal de recepção. Deste modo, uma estrela cadente ou uma tempestade cósmica não interfeririam com a mensagem. Quem escutasse este sinal de difusão apenas poderia ouvir linguagem não articulada. (Os nossos e-mails estão subdivididos em muitas partes, e cada uma dessas partes é enviada através de um caminho diferente, sendo, no fim, reunidas no PC. De modo semelhante, as civilizações avançadas podem usar métodos sofisticados para

quebrar um sinal e reuni-lo na outra extremidade).

Se existir no Universo uma civilização do tipo Ili, uma das suas mais prementes preocupações será estabelecer um sistema de comunicação na galáxia. Isto, evidentemente, depende da possibilidade de, de algum modo, dominar tecnologia mais rápida do que a luz, por exemplo através de buracos de verme. Se admitirmos que tal não é possível, então o seu crescimento será consideravelmente retardado. O físico Freeman Dyson, citando o trabalho de Jean-Marc Levy-Leblond, especula que tal sociedade pode viver num Universo «Carroll», do nome de Lewis Carroll. No passado, diz Dyson, a sociedade humana agrupava-se em pequenas tribos nas quais o espaço era absoluto, mas o tempo era relativo. Isto significava que a comunicação entre tribos dispersas era impossível e apenas nos podíamos aventurar a uma pequena distância do local do nascimento, na duração de uma vida humana. As tribos estavam separadas umas das outras pela

vastidão do espaço absoluto. Com o advento da Revolução Industrial, entrámos no Universo newtoniano, no qual o espaço e o tempo se tornaram absolutos, e tivemos barcos e rodas que ligaram em nações as tribos dispersas. No século XX, entrámos no Universo de Einstein, em que o espaço e o tempo eram ambos relativos, e desenvolvemos o telégrafo, o telefone, a rádio e a TV, o que conduziu à comunicação instantânea. Uma civilização do tipo III pode retroceder de novo a um Universo Carroll, com bolsas de colónias espaciais separadas por vastas distâncias interestelares, incapazes de comunicarem umas com as outras devido à barreira de luz. Para impedir a fragmentação desse Universo Carroll, uma civilização do tipo III podia precisar de desenvolver buracos de verme que permitem comunicação mais rápida do que a luz ao nível subatómico.6

CIVILIZAÇÃO DO TIPO IV

Um dia estava eu a fazer uma comunicação no Planetário de Londres e um rapazinho de dez anos veio falar comigo insistindo que devia haver

uma civilização do tipo IV. Quando lhe lembrei que há apenas planetas, estrelas e galáxias e estas são as únicas plataformas que permitem a génese da vida inteligente, ele alegou que uma civilização do tipo IV podia utilizar a energia do espaço

Ele tinha razão, compreendi. Se uma civilização do tipo IV existisse, a sua fonte de energia deveria ser extragaláctica, como a energia negra que vemos à nossa volta, que perfaz mais de 73% do conteúdo de matéria/energia do Universo. Embora seja potencialmente um enorme reservatório de energia - de longe o maior do Universo - este campo de antigravidade está disperso nas distâncias enormes do vazio e, por isso, é extremamente fraco em qualquer ponto do espaço.

Nikola Tesla, o génio da electricidade e rival de Thomas Edison, escreveu bastante sobre o armazenamento da energia do vácuo. Acreditava que o vácuo escondia enormes reservatórios de energia. Se, de algum modo, conseguíssemos encontrar essa fonte, revolucionaríamos toda a

sociedade humana, pensava ele. No entanto, seria extremamente dificil extrair esta energia fabulosa. Imaginemos que procuramos ouro nos oceanos. Provavelmente, há mais ouro espalhado nos oceanos do que todo o ouro de Fort Knox e dos outros tesouros do mundo. No entanto, a extracção de ouro dos oceanos seria tão dispendiosa que se tornaria proibitiva. Por isso, o ouro que se encontra nos oceanos nunca foi recolhido.

De modo análogo, a energia oculta na energia negra excede todo o conteúdo de energia das estrelas e das galáxias. Contudo, está espalhada ao longo de milhares de milhões de anos-luz e seria dificil concentrá-la. Mas, pelas leis da física, pode conceber-se que uma civilização avançada do tipo III, tendo exaurido a potência das estrelas da galáxia, poderia, de algum modo, encontrar esta energia para fazer a transição para o tipo IV.

CLASSIFICAÇÃO DA INFORMAÇÃO

É possível aperfeiçoar a classificação das civilizações com base nas novas tecnologias. Kardashev publicou a classificação original na

década de 1960, antes da explosão da miniaturização dos computadores, dos avanços da nanotecnologia e do conhecimento dos problemas da degradação ambiental. À luz destes desenvolvimentos, uma civilização avançada podia progredir de uma maneira ligeiramente diferente tirando todo o partido da revolução da informação a que assistimos hoje.

Quando uma civilização avançada se desenvolve exponencialmente, a produção abundante de perdas de calor poderá elevar perigosamente a temperatura da atmosfera do planeta e criar problemas climáticos. Colónias de bactérias crescem exponencialmente em cultura até esgotarem a reserva de alimento e submergirem no seu próprio lixo. De modo semelhante, como as viagens no espaço continuarão a ser proibitivamente caras durante séculos, e a adaptação de planetas vizinhos, se tal for possível, será um desafio económico e científico muito grande, uma civilização do tipo I em evolução podia sufocar nas suas próprias perdas de calor, ou podia transformar em

miniatura a sua produção de informação e aperfeiçoá-la.

Para ver a eficiência dessa miniaturização, considere o cérebro humano, que contém cerca de 100 mil milhões de neurónios (tantos quantas as galáxias do Universo visível), mas que quase não produz calor. Por direito, se um engenheiro de computadores quisesse hoje conceber um computador electrónico capaz de calcular milhares de biliões de bytes por segundo, como o cérebro pode fazer aparentemente sem esforço, teria provavelmente vários blocos cúbicos e seria necessário um reservatório de água para o arrefecer. Mas o nosso cérebro pode conceber os pensamentos mais sublimes sem precisar de dispender grande esforço.

O cérebro pode fazê-lo devido à sua arquitectura molecular e celular. Antes de mais, não é um computador (no sentido de ser uma máquina de Turing padrão, com uma fita de input, uma fita de out-put e um processador central). O cérebro não tem sistema operativo, nem Windows, nem

CPU, nem chip de Pentium, que geralmente associamos aos computadores. Em vez disso, é uma rede neuronal altamente eficiente, uma máquina com capacidade de aprendizagem, onde os padrões de memória e de inteligência estão distribuídos em vez de estarem concentrados numa unidade central de processamento. O cérebro não computa muito rapidamente, porque as mensagens eléctricas enviadas pelos neurónios são de natureza química. Mas a sua lentidão é compensada pelo facto de poder executar processamento paralelo e poder aprender novas tarefas a velocidades muito grandes.

Para optimizar a eficiência dos computadores electrónicos, os cientistas estão a tentar usar ideias novas, muitas delas provenientes da natureza, para criar a próxima geração de computadores muito pequenos. Os cientistas, em Princeton, já conseguiram fazer cálculos em moléculas de ADN (tratando o ADN como uma parte de uma fita de computador que não se baseia em zeros e uns binários, mas nos quatro ácidos nucleicos A,

T, C, G); este computador de ADN resolveu o problema do caixeiro-viajante que tem de viajar por várias cidades (ou seja, calcular o caminho mais curto que passa por todas essas cidades). De modo similar, foram criados em laboratório transístores moleculares e já foram construídos os primeiros computadores quânticos.

Graças aos avanços da nanotecnologia, é possível que uma civilização avançada encontre maneiras muito mais eficientes de se desenvolver em vez de permitir perdas de calor em quantidades enormes que ameacem a sua existência.

TIPOS A A Z

Sagan introduziu ainda uma outra maneira de classificar civilizações avançadas de acordo com o seu conteúdo de informação, que seria essencial para qualquer civilização que encare a hipótese de abandonar o Universo. Uma civilização do tipo A, por exemplo, processa 10^{16} bits de informação, o que corresponderia a uma civilização primitiva sem uma linguagem escrita, mas com

uma linguagem falada. Para compreendermos que quantidade de informação está contida numa civilização do tipo A, Sagan usou o exemplo do jogo de vinte questões; neste jogo, solicita-se a identificação de um objecto misterioso fazendo apenas vinte perguntas que podem ser respondidas com sim ou não. Uma estratégia consiste em fazer perguntas que dividem o mundo em duas grandes partes, tais como «É um ser vivo?» Depois de fazer vinte perguntas destas, dividimos o mundo em 220 partes ou 106 partes, que é o conteúdo total de informação de uma civilização de tipo A.

Uma vez descoberta uma linguagem escrita, o conteúdo de informação total explode rapidamente. O físico Phillip Morrison, do MIT, estima que a herança escrita total da Grécia Antiga que chegou até nós é cerca de 109 bits, ou uma civilização de tipo C, de acordo com a classificação de Sagan.

Sagan estimou o conteúdo de informação do presente. Calculando o número de livros contidos

em todas as bibliotecas do mundo (medido em dezenas de milhões) e o número de páginas de cada livro, chegou a 10^{13} bits de informação. Se incluirmos fotografias, este número pode subir para 10^{15} bits, o que corresponderia a uma civilização do tipo H. Em virtude do nosso baixo output de energia e de informação, podemos ser classificados como uma civilização do tipo 0,7 H.

Segundo Sagan, o nosso primeiro contacto com uma civilização extraterrestre envolverá uma civilização pelo menos do tipo 1,5 J ou 1,8 K porque já dominaram a dinâmica das viagens interestelares. No mínimo, essa civilização seria várias centenas a vários milénios mais avançada do que a nossa. De modo semelhante, uma civilização galáctica do tipo III pode ser tipificada pelo conteúdo de informação de cada planeta a multiplicar pelo número de planetas da galáxia capazes de albergarem vida. Sagan calculou que essa civilização do tipo III seria do tipo Q. Uma civilização avançada que pudesse recolher o conteúdo de informação de um bilião de galáxias,

representando uma grande parte do Universo visível, qualificaria a civilização como de tipo Z, estimou ele.

Este não é um exercício académico trivial. Qualquer civilização que queira abandonar o Universo terá necessariamente de calcular as condições do outro lado. As equações de Einstein são notoriamente dificeis porque, para calcular a curvatura do espaço em qualquer ponto, precisamos de conhecer a localização de todos os objectos do Universo, pois todos eles contribuem para a curvatura do espaço. Também temos de conhecer as correcções quânticas do buraco negro, que, presentemente, não podemos calcular. Uma vez que tudo isto é muito dificil para os nossos computadores, os físicos hoje costumam aproximar-se de um buraco negro estudando um Universo dominado por uma única estrela que tenha sofrido o colapso. Para chegar a uma compreensão mais realista da dinâmica no interior do horizonte de eventos de um buraco negro ou perto da boca de um buraco de verme, temos

necessariamente de conhecer a localização e o conteúdo de energia de todas as estrelas vizinhas e calcular as flutuações quânticas. Mais uma vez, isto é proibitivamente dificil. É muito dificil resolver as equações de uma única estrela num Universo vazio, quanto mais dos milhares de milhões de galáxias que flutuam num Universo inflacionado.

É por isso que qualquer civilização que tente fazer a viagem através de um buraco de verme tem de dispor de poder computacional muito superior ao que está ao alcance de uma civilização do tipo 0,7 H, como a nossa. Talvez a civilização com conteúdo mínimo de energia e de informação que encare seriamente a possibilidade de fazer o salto seja do tipo III .

Também é concebível que a inteligência possa ultrapassar as fronteiras da classificação de Kardashev. Como Sir Martin Rees diz: «É muito provável que, mesmo que a vida exista agora apenas aqui na Terra, acabará por se espalhar através da Galáxia e para além dela. Assim, os

vestígios de vida podem não permanecer para sempre um aspecto sem importância do Universo, embora agora ainda o seja. De facto, penso que esta é uma perspectiva bastante atraente e penso que seria salutar, se fosse vastamente partilhada.»[8] Mas adverte-nos: «Se morrermos, estaremos a destruir as potencialidades cósmicas genuínas. Assim, mesmo que se acredite que a vida é, presentemente, exclusiva da Terra, tal não significa que ela venha a ser para sempre uma peça trivial do Universo.»[9]

Como poderia uma civilização avançada abandonar o seu Universo moribundo? Teria de ultrapassar uma porção de grandes obstáculos.

PASSO UM: CRIAR E TESTAR UMA TEORIA DE TUDO

O primeiro obstáculo para uma civilização que queira abandonar o Universo seria completar uma teoria de tudo. Independentemente de ser ou não uma teoria de cordas, temos de encontrar uma maneira de calcular correcções quânticas

fiáveis das equações de Einstein; caso contrário, nenhuma das nossas teorias será útil. Felizmente, como a teoria M está a avançar rapidamente, e algumas das mentes mais brilhantes do planeta estão a trabalhar nesta questão, saberemos muito rapidamente, dentro de poucas décadas ou talvez menos, se é verdadeiramente a teoria de tudo ou é a teoria de nada.

Uma vez encontrada uma teoria de tudo ou uma teoria de gravidade quântica, temos de verificar as consequências dessa teoria usando tecnologia avançada. Existem várias possibilidades, entre as quais a construção de grandes esmagadores de átomos, para criar superpartículas ou enormes detectores de ondas de gravidade localizados no espaço ou em diferentes luas do sistema solar. (As luas são muito estáveis durante longos períodos de tempo, livres de erosão e de perturbações atmosféricas, pelo que um sistema planetário de detectores de ondas de gravidade pode sondar os pormenores do big bang, resolvendo quaisquer questões que possamos

colocar acerca da gravidade quântica e da criação de um novo Universo).

Logo que seja encontrada uma teoria da gravidade quântica e grandes esmagadores de átomos e detectores de ondas de gravidade confirmem a sua correcção, então poderemos começar a responder a algumas questões essenciais referentes às equações de Einstein e aos buracos de verme.

1. Os buracos de verme são estáveis*?*

Ao passar através de um buraco negro de Kerr em rotação, o problema é que a nossa própria presença perturba o buraco negro, que pode colapsar antes de passarmos pela ponte de Einstein-Rosen. Este cálculo de estabilidade tem de ser refeito à luz de correcções quânticas, que podem alterar completamente os cálculos.

2. Existem divergências?

Se passarmos através de um buraco de verme que liga duas épocas de tempo, então a emissão de radiação que circunda

a entrada do buraco de verme pode tomar-se infinita, o que seria desastroso. (Isto acontece porque a radiação pode passar através do buraco de verme, retroceder no tempo e voltar muitos anos depois para entrar no buraco de verme pela segunda vez. Este processo pode ser repetido um número infinito de vezes, levando a uma emissão infinita de radiação. Contudo, este problema pode ser resolvido, se a teoria de muitos mundos for válida e permitir que o Universo se divida sempre que a radiação passa através do buraco de verme e se não houver emissão infinita de radiação. Precisamos de uma teoria de tudo para resolver esta delicada questão.)

3. Poderemos encontrar grandes quantidades de energia negativa?

Já se sabe que a energia negativa, um ingrediente chave que pode abrir e estabilizar os buracos de verme, existe, mas

apenas em pequenas quantidades. Poderemos encontrá-la em quantidades suficientes para abrir e estabilizar um buraco de verme?

Admitindo que podemos encontrar as respostas para estas questões, então uma civilização avançada pode começar a pensar seriamente numa forma de abandonar o Universo ou enfrentar uma extinção inevitável. Existem algumas alternativas.

PASSO DOIS: ENCONTRAR BURACOS DE VERME E BURACOS BRANCOS QUE OCORREM NATURALMENTE

Buracos de verme, portais dimensionais e cordas cósmicas podem existir naturalmente no espaço exterior. No instante do big bang, quando uma enorme quantidade de energia foi libertada para o Universo, os buracos de verme e as cordas cósmicas podem ter-se formado naturalmente. A inflação do Universo primitivo podia ter expandido estes buracos de verme a ponto de atingirem

um tamanho macroscópico. Além disso, é possível que a matéria exótica ou a matéria negativa existam naturalmente no espaço exterior, o que facilitaria muito os esforços para abandonar um Universo moribundo. Contudo, nada nos garante que esses objectos existam na natureza. Nunca ninguém viu nenhum objecto desses e é muito arriscado apostar o destino de toda a vida inteligente nesta hipótese.

Seguidamente, há a possibilidade de encontrarmos «buracos brancos» observando com cuidado os céus. Um buraco branco é uma solução das equações de Einstein na qual o tempo é invertido, pelo que os objectos são ejectados de um buraco branco da mesma maneira que são sugados para o interior de um buraco negro. Um buraco branco podia ser encontrado na outra extremidade de um buraco negro, pelo que a matéria que entra num buraco negro acaba por sair do buraco branco. Até agora, nenhuma investigação astronómica encontrou provas da existência de buracos brancos, mas a sua existência

pode ser comprovada com a próxima geração de detectores em órbita.

PASSO TRÊS: ENVIAR SONDAS ATRAVÉS DE UM BURACO NEGRO

Há vantagens evidentes em usar esses buracos negros como buracos de verme. Os buracos negros, como temos vindo a descobrir, abundam no Universo; se for possível resolver os numerosos problemas técnicos, os buracos de verme terão de ser seriamente encarados por qualquer civilização avançada como uma forma de escapar do nosso Universo. Além disso, a passagem através de um buraco negro, não está sujeita à limitação de não podermos retroceder no tempo para um tempo anterior à criação da máquina do tempo. O buraco de verme no centro do anel de Kerr pode conectar o nosso Universo com outros completamente diferentes ou com diferentes pontos do mesmo Universo. A única maneira de o saber seria através de experiências com sondas e através da utilização de um supercomputador para calcular a distribuição de massas nos

universos e calcular as correcções quânticas das equações de Einstein através do buraco de verme.

Actualmente, a maior parte dos físicos acredita que uma viagem através de um buraco negro seria fatal. Contudo, a nossa compreensão da física dos buracos negros ainda está na sua infância e esta hipótese nunca foi testada. Suponha, apenas a título hipotético, que é possível efectuar uma viagem através de um buraco negro, em particular de um buraco negro de Kerr em rotação. Então, qualquer civilização avançada se empenharia em sondar o interior dos buracos negros.

Uma vez que uma viagem através de um buraco negro seria uma viagem sem retomo, e em virtude dos enormes perigos nas proximidades de um buraco negro, uma civilização avançada provavelmente tentaria localizar um buraco negro estelar vizinho e enviar primeiro uma sonda através dele. A sonda poderia enviar informação valiosa até ao momento em que atravessasse o horizonte de eventos e se perdesse todo o contacto. (É provável que uma viagem para além do

horizonte de eventos seja completamente letal, devido ao campo de intensa radiação que o rodeia. Os raios de luz que caíssem num buraco negro sofreriam um desvio para o azul e, assim, ganhariam energia à medida que se aproximassem do centro). Qualquer sonda que se aproximasse do horizonte de eventos teria de ser muito bem protegida contra esta intensa barreira de radiação. Além do mais, isto talvez desestabilizasse o próprio buraco negro, pelo que o horizonte de eventos se transformaria numa singularidade, fechando o buraco de verme. A sonda determinaria com precisão a quantidade de radiação existente perto do horizonte de eventos e verificaria se o buraco de verme podia permanecer estável, apesar de todo este fluxo de energia.

Os dados provenientes da sonda antes de ela entrar no horizonte de eventos teriam de ser enviados por rádio para naves espaciais vizinhas, mas aí reside outro problema. Para um observador situado numa dessas naves, a sonda pareceria estar a desacelerar no tempo à medida que se

aproximasse do horizonte de eventos. Ao entrar no horizonte de eventos, a sonda, de facto, pareceria ter paralisado no tempo. Para evitar este problema, as sondas teriam de enviar por rádio os seus dados a uma certa distância do horizonte de eventos ou os sinais de rádio sofreriam um desvio para o vermelho tão grande que os dados seriam irreconhecíveis.

PASSO QUATRO: CONSTRUIR UM BURACO NEGRO EM MOVIMENTO LENTO

Logo que as características nas proximidades do horizonte de eventos dos buracos negros estejam cuidadosamente exploradas por sondas, o passo seguinte poderia ser criar um buraco negro em movimento lento, para fins experimentais. Uma civilização do tipo III podia tentar reproduzir os resultados sugeridos no artigo de Einstein - que os buracos negros nunca se podem formar a partir de massas rodopiantes de poeira e de partículas. Einstein tentou mostrar que uma massa de partículas em rotação não atingiria o

raio de Schwarzschild por si própria (e, consequentemente, os buracos negros eram impossíveis).

Massas rodopiantes, por si próprias, talvez não dessem origem a um buraco negro. Mas isto deixa em aberto a possibilidade de se injectar, artificial e lentamente nova energia e matéria no sistema giratório, obrigando as massas a passarem gradualmente pelo raio de Schwarzschild. Deste modo, uma civilização podia manipular a formação de um buraco negro de uma maneira controlada.

Por exemplo, podemos imaginar que uma civilização do tipo III capturava estrelas de neutrões, que são quase do tamanho de Manhattan, mas pesam mais do que o nosso Sol, e formava um conjunto giratório destas estrelas mortas. A gravidade acabaria por aproximar estas estrelas umas das outras, embora nunca atingissem o raio de Schwarzschild, como Einstein mostrou. Neste momento, os cientistas desta civilização avançada podiam acrescentar cuidadosamente

estrelas de neutrões à mistura. Isto podia ser o bastante para quebrar o equilíbrio, fazendo com que esta massa rodopiante de matéria de neutrões colapsasse no interior do raio de Schwarzschild. Consequentemente, o conjunto de estrelas colapsaria num anel rodopiante, o buraco negro de Kerr. Controlando a velocidade e os raios das várias estrelas de neutrões, essa civilização faria com que o buraco negro de Kerr abrisse tão lentamente quanto quisesse.

Uma civilização avançada também poderia tentar juntar pequenas estrelas de neutrões numa só massa estacionária, até atingir o tamanho de 3 massas solares, que é aproximadamente o limite de Chandrasekhar para as estrelas de neutrões. Para além deste limite, a estrela implodiria num buraco negro, em virtude da sua própria gravidade. (Uma civilização avançada teria de ter cuidado para que a criação de um buraco negro não causasse uma explosão semelhante a uma supernova. A contracção para o buraco negro teria de ser feita de forma muito gradual e precisa).

Claro que para quem passasse através de um horizonte de eventos esta seria uma viagem sem retorno. Mas uma civilização avançada que enfrentasse a certeza da extinção, poderia não ter outra alternativa senão uma viagem sem retorno. Além disso, quando se atravessa o horizonte de eventos, há o problema da radiação. A energia dos feixes de luz que nos seguem através do horizonte de eventos aumenta com o aumento da sua frequência. Isto provavelmente causaria uma chuva de radiação que seria mortal para um astronauta que passasse através do horizonte de eventos. Qualquer civilização avançada teria de calcular a quantidade precisa de radiação e proteger-se de modo a evitar ser frita.

Finalmente, há o problema da estabilidade: o buraco de verme no centro do anel de Kerr será suficientemente estável para se poder passar através dele? A matemática desta questão não é totalmente clara, uma vez que temos de usar uma teoria quântica da gravidade para fazer um cálculo adequado. Pode acontecer que o anel de

Kerr seja estável em certas condições muito restritas, quando a matéria passa através do buraco de verme. Esta questão teria de ser cuidadosamente resolvida através da matemática da gravidade quântica e de experiências sobre o próprio buraco negro.

Em resumo, a passagem através de um buraco negro será, indubitavelmente, uma viagem muito difícil e perigosa. Teoricamente, não poderá ser concretizada antes de ser levada a cabo experimentação extensiva e de ser efectuado o cálculo adequado de todas as correcções quânticas.

PASSO CINCO: CRIAR UM UNIVERSO BEBÉ

Até agora, admitimos que pode ser possível passar através de um buraco negro. Admitamos agora o contrário, que os buracos negros são demasiado instáveis e demasiado cheios de radiação letal. Podíamos talvez experimentar um caminho ainda mais dificil: criar um Universo bebé. A ideia de uma civilização avançada criar uma forma de escapar para outro Universo tem

intrigado físicos como Alan Guth. Como a teoria inflacionária está tão dependente da criação do falso vácuo, Guth interrogou-se sobre se alguma civilização avançada podia criar artificialmente um falso vácuo e criar um Universo bebé em laboratório.

Em primeiro lugar, a ideia de criar um Universo parece absurda. Afinal de contas, como Guth salienta, para criar o nosso Universo são necessários 10^{89} fotões, 10^{89} electrões, 10^{89} positrões, 10^{89} neutrinos, 10^{89} antineutrinos e 10^{89} neutrões. Embora esta tarefa pareça desanimadora, Guth lembra que, embora o conteúdo de matéria-energia de um Universo seja muito grande, é equilibrado pela energia negativa derivada da gravitação. A matéria-energia líquida total pode ser tão pequena como 30 gramas. Guth adverte: «Significa isto que as leis da fisica nos permitem criar livremente um novo Universo? Infelizmente, se tentássemos pôr em prática esta receita, depararíamos imediatamente com um obstáculo inesperado e incómodo: como uma esfera

de falso vácuo com 10^{-26} cm de diâmetro tem uma massa de 30 gramas, a sua densidade é fenomenal - 10^{80} g/cm3 !... Se a massa de todo o Universo observado fosse comprimida até à densidade do falso vácuo, caberia num volume mais pequeno do que um átomo!»[10] O falso vácuo seria a pequena regiãodo espaço-tempo onde surge uma instabilidade e se verifica uma fenda. Talvez fossem necessárias apenas poucas gramas de matéria dentro do falso vácuo para criar um Universo bebé, mas esta pequena quantidade de matéria tem de ser comprimida para atingir uma distância astronomicamente pequena.

Talvez haja uma outra maneira de criar um Universo bebé. Pode aquecer-se uma pequena região do espaço a 10^{29} K e depois arrefecê-la rapidamente. Conjectura-se que, a esta temperatura, o espaço-tempo se toma instável; começariam a formar-se pequenos universos bolha e podia ser criado um falso vácuo. Estes pequenos universos bebé que estão continuamente a formar-se, mas que têm uma vida curta,

podem transformar-se em universos reais a essa temperatura. Tal fenómeno já é familiar com campos eléctricos comuns. (Por exemplo, se criarmos um campo eléctrico suficientemente grande, os pares virtuais electrãopositrão que entram e saem constantemente do vácuo podem subitamente tomar-se reais, permitindo que estas partículas ganhem existência. Assim, a energia concentrada no espaço vazio pode transformar as partículas virtuais em partículas reais. De modo semelhante, se aplicarmos energia suficiente num simples ponto, teoricamente universos bebé virtuais podem ganhar existência aparecendo do nada).

Pressupondo que se podem atingir densidades ou temperaturas tão incríveis, a formação de um Universo bebé pode assemelhar-se ao que se segue. No nosso Universo, podemos usar feixes de laser e feixes de partículas poderosos para comprimir e aquecer uma pequena quantidade de matéria até atingir energias e temperaturas fantásticas. Nunca veremos o Universo bebé no

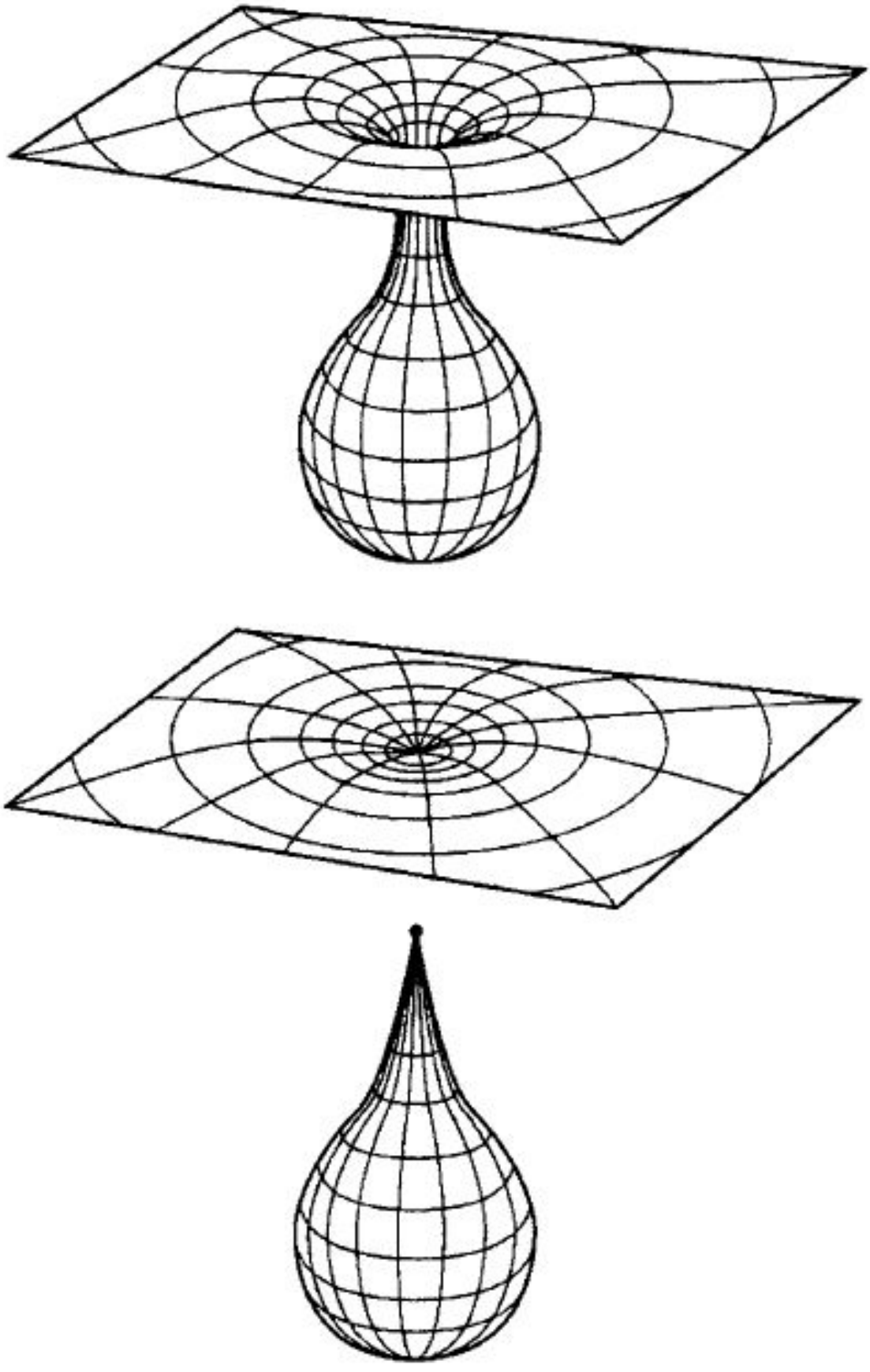
seu início, quando ele começa a formar-se, visto que ele se expande do «outro lado» da singularidade e não no nosso Universo. Este Universo bebé alternativo pode eventualmente sofrer inflação no hiperespaço através da sua própria força da anti-gravidade e «fazer germinar» o nosso Universo. Por conseguinte, nunca veremos que um novo Universo se está a formar do outro lado da singularidade. Mas um buraco de verme ligar-nos-ia, como um cordão umbilical, ao Universo bebé.

É, contudo, um pouco perigoso criar um Universo num forno. O cordão umbilical que liga o nosso Universo ao Universo bebé acabará por se evaporar e criar radiação de Hawking equivalente a uma explosão nuclear de 500 quilotoneladas, cerca de vinte e cinco vezes a energia da bomba de Hiroshima. Assim, haveria um preço a pagar para criarmos um novo Universo num forno.

Um último problema relacionado com esta possibilidade de criar um falso vácuo é que seria fácil que o novo Universo colapsasse

simplesmente num buraco negro que, lembramos, admitimos que era letal. A explicação deste facto reside no teorema de Penrose, que diz que, num vasto leque de cenários, qualquer concentração de massa suficientemente grande colapsará inevitavelmente num buraco negro. Uma vez que as equações de Einstein são invariantes para inversões do tempo, isto é, podem avançar ou recuar no tempo, tal significa que qualquer matéria que saia do nosso Universo bebé pode retroceder no tempo, originando um buraco negro. Assim, temos de ter muito cuidado ao construir o Universo bebé para evitar o teorema de Penrose.

O teorema de Penrose assenta no pressuposto de que a matéria que cai tem energia positiva (como o mundo familiar que nos rodeia). Contudo, o teorema deixa de ser válido, se a energia ou a matéria forem negativas. Assim, mesmo para o cenário inflacionário, precisamos de obter energia negativa para criar um Universo bebé, tal como aconteceria com o buraco de verme transponível.



Um Universo bebé pode ser criado artificialmente e de várias maneiras por u
civilização avançada. Algumas onças de matéria podem ser concentradas
enormes densidades e energias ou a matéria pode ser aquecida até atingir uma te

PASSO SEIS: CRIAR ENORMES ESMAGADORES DE ÁTOMOS

Como podemos construir uma máquina capaz de sair do nosso Universo, dado o acesso ilimitado à alta tecnologia? Até que ponto podemos aproveitar a potência da energia de Planck? Quando uma civilização atinge o estado de tipo III, por definição, já tem o poder de manipular a energia de Planck. Os cientistas seriam capazes de lidar com buracos de verme e reunir energia suficiente para abrir buracos no espaço e no tempo.

Uma civilização avançada pode fazer isto de várias maneiras. Como já mencionei, o nosso Universo pode ser uma membrana com um Universo paralelo apenas a um milímetro de distância do nosso Universo, flutuando no hiperespaço. Se assim for, o Large Hadron Collider pode detectá-lo nos próximos anos. No momento em que avançarmos para uma civilização do tipo 1, poderemos dispor da tecnologia necessária para explorar a natureza deste Universo

vizinho. Assim, a ideia de estabelecer contacto com um Universo paralelo pode não ser muito artificial.

Mas admitamos a pior das hipóteses: a de que a energia a que os efeitos gravitacionais quânticos surgem é a energia de Planck, que é mil biliões de vezes maior do que a energia do LHC. Para explorar a energia de Planck, uma civilização do tipo III teria de criar um esmagador de átomos de proporções estelares. Nos esmagadores de átomos ou aceleradores de partículas, as partículas subatómicas descem num tubo estreito. Quando a energia é injectada no tubo, as partículas são aceleradas a altas energias. Se usarmos ímanes enormes para inclinar a trajectória das partículas num largo círculo, então as partículas podem ser aceleradas a biliões de electrões-volt de energia. Quanto maior for o raio do círculo, maior será a energia do feixe. O LHC tem um diâmetro de 27 km, que é o limite máximo de energia de que uma civilização do tipo 0,7 pode dispor.

Mas uma civilização do tipo III tem a possibilidade de construir um esmagador de átomos do tamanho do sistema solar, ou até mesmo de um sistema estelar. É provável que uma civilização avançada possa disparar um feixe de partículas subatómicas para o espaço exterior e acelerá-las à energia de Planck. Como já disse, com a nova geração de aceleradores de partículas de laser, dentro de poucas décadas, os físicos podem conseguir criar um acelerador tabletop capaz de gerar 200 GeV (200 mil milhões de electrões-volt) à distância de um metro. Empilhando estes aceleradores tabletop, é possível que se atinjam energias em que o espaço-tempo se toma instável.

Se admitirmos que os futuros aceleradores podem disparar partículas apenas a 200 GeV por metro, que é uma hipótese prudente, precisaríamos de um acelerador de partículas de 10 anos-luz de comprimento para atingir a energia de Planck. Embora isto seja proibitivamente grande para qualquer civilização do tipo I ou do tipo II, está dentro das capacidades de uma

civilização do tipo III. Para construir um esmagador de átomos tão gigantesco, uma civilização do tipo III podia inclinar a trajectória do feixe num círculo, guardando assim espaço considerável ou podia deixar a trajectória estendida numa linha que se prolonga para além da estrela mais próxima.

Era possível, por exemplo, construir um esmagador de átomos que disparasse partículas subatómicas ao longo de uma trajectória circular dentro da cintura de asteróides. Não seria necessário construir uma dispendiosa peça circular de tubo, porque o vácuo do espaço exterior é melhor que qualquer vácuo que possamos criar na Terra. Mas seria preciso construir ímanes enormes, colocados a intervalos regulares, em luas e asteróides distantes, no sistema solar ou em vários sistemas estelares, que inclinariam periodicamente o feixe.

Quando o feixe chegasse perto de uma lua ou de um asteróide, ímanes enormes situados na lua empurrá-lo-iam, alterando muito ligeiramente a

sua direcção. (As estações lunares ou de asteróides também teriam de voltar a focar o feixe a intervalos regulares, porque o feixe divergiria gradualmente à medida que a distância percorrida aumentasse.) Quando o feixe tivesse percorrido várias luas, tomaria gradualmente a forma de um arco. Finalmente, acabaria por tomar a forma próxima de um círculo. Também podíamos imaginar dois feixes, um viajando no sentido dos ponteiros do relógio em tomo do sistema solar e o outro em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. Quando os dois feixes colidissem, a energia libertada pela colisão matéria/antimatéria criaria energias próximas da energia de Planck. (Podemos calcular que os campos magnéticos necessários para inclinar um feixe tão poderoso excedem em muito a tecnologia actual. Contudo, podemos conceber que uma civilização avançada possa usar explosivos para enviar uma onda poderosa de energia através de espirais para criar um enorme impulso magnético. Esta gigantesca libertação de energia magnética apenas podia

ocorrer uma vez, porque, provavelmente, destruiria as espirais, pelo que os ímanes teriam de ser rapidamente substituídos, antes de o feixe de partículas voltar para o próximo passo.)

Além dos terríveis problemas de engenharia colocados pela criação de tal esmagador de átomos, resta ainda a delicada questão de saber se a energia de um feixe de partículas tem um limite. Qualquer feixe de partículas energéticas acabaria por colidir com os fotões que constituem o fundo de radiação de 2,7 K perdendo energia. Em teoria, o feixe podia, de facto, perder tanta energia que haveria um limite último para a energia que é possível atingir no espaço exterior. Este resultado ainda não foi experimentalmente testado. (De facto, há indícios de que os impactos de raios cósmicos de energia excederam esta energia máxima, o que lança dúvidas sobre os cálculos no seu todo.) Contudo, se assim for, será preciso efectuar no aparato uma modificação mais dispendiosa. Primeiro, podíamos encerrar todo o feixe num tubo de vácuo com protecção para

conservar a radiação de fundo de 2,7K. Ou, se a experiência for feita num futuro longínquo, é possível que a radiação do fundo seja suficientemente pequena para deixar de ter importância.

PASSO SETE: CRIAR MECANISMOS DE IMPLOSÃO

Também podíamos imaginar um segundo dispositivo, baseado em feixes de laser e num mecanismo de implosão. Na natureza, são atingidas temperaturas e pressões enormes pelo método de implosão, o que também se verifica quando uma estrela que morre sofre o colapso subitamente devido à força da gravidade. Isto é possível, porque a gravidade é apenas atractiva e não repulsiva, pelo que o colapso ocorre uniformemente e, assim, a estrela é comprimida uniformemente atingindo densidades incríveis.

Este método de implosão é muito dificil de recriar no planeta Terra. As bombas de hidrogénio, por exemplo, têm de ser concebidas como um relógio suíço, de modo a que o deutereto de lítio, o ingrediente activo de uma bomba de

hidrogénio, seja comprimido a dezenas de milhões de graus para atingir os critérios de Lawson a que o processo de fusão obedece. (Isto faz-se detonando uma bomba atómica perto do deutereto de lítio e, focando a radiação de raios X uniforme na superficie de um pedaço de deuteto de lítio.) Este processo, contudo, apenas pode libertar energia de forma explosiva e não de uma maneira controlada.

Na Terra, as tentativas para usar o magnetismo para comprimir gás rico em hidrogénio falharam, sobretudo porque o magnetismo não comprime o gás de uma maneira uniforme. Como nunca vimos um monopólo na natureza, os campos magnéticos são bipolares, como o campo magnético da Terra. Portanto, são horrivelmente não uniformes. Usá-los para comprimir gás é como tentar comprimir um balão. Sempre que comprimimos uma extremidade, a outra extremidade do balão incha.

Outra maneira de controlar a fusão pode consistir em usar uma bateria de feixes de laser,

disposta ao longo da superficie de uma esfera, pelo que os feixes são disparados radialmente para uma pequena bola de deutereto de lítio, no centro. Por exemplo, no Livermore National Laboratory, há um poderoso dispositivo de laser de fusão usado para simular armas nucleares. Dispara uma série de feixes de laser horizontalmente para um túnel. Então, os espelhos situados na extremidade do túnel reflectem cuidadosamente cada feixe, pelo que os feixes se dirigem radialmente para uma pequena bola. A superficie da bola é imediatamente vaporizada, o que faz com que a bola impluda originando temperaturas elevadas. Deste modo, a fusão tem, na realidade, sido vista dentro da bola (embora a máquina consuma mais energia do que a que cria, não sendo, por isso comercialmente viável).

De modo análogo, podemos conceber que uma civilização do tipo III construa grandes bancos de feixes de laser em asteróides e luas de vários sistemas estelares. Esta bateria de lasers dispararia imediatamente, libertando uma série de

feixes poderosos que convergem num único ponto, criando temperaturas em que o tempo e o espaço se tomam instáveis.

Em princípio, não há limite teórico para a quantidade de energia que é possível colocar num feixe de laser. No entanto, há problemas práticos na criação de lasers de potência muito elevada. Um dos principais problemas é a estabilidade do material dos lasers, que muitas vezes pode sobreaquecer e rebentar a altas energias. (Isto pode evitar-se, se conduzirmos o feixe de lasers por uma explosão que ocorre apenas uma vez, como as detonações nucleares.)

A finalidade de disparar este banco esférico de feixes de laser é aquecer uma câmara de modo a que o falso vácuo seja criado no seu interior ou implodir e comprimir um conjunto de lâminas para criar energia negativa através do efeito de Casimir. Para criar esse dispositivo de energia negativa, seria necessário comprimir um conjunto de lâminas esféricas dentro do comprimento de Planck, que é de 10^{-33} cm. Como a distância que

separa os átomos é 10^{-8} cm e a distância que separa os protões e os neutrões nos núcleos é de 10^{-13} cm, vemos que a compressão destas lâminas tem de ser enonne. Como a potência total em watts que se pode acumular num feixe de laser é essencialmente ilimitada, o principal problema consiste em criar um aparelho suficientemente estável para sobreviver a esta enorme compressão. (Como o efeito de Casimir cria uma atracção líquida entre as lâminas, também teremos de acrescentar cargas às lâminas, para impedir que colapsem). Em princípio, um buraco de verme desenvolver-se-á nas camadas esféricas que conectam o nosso Universo moribundo com um Universo muito mais jovem e muito mais quente.

PASSO OITO: CONSTRUIR UMA MÁQUINA WARPDRIVE

Um elemento chave necessário para reunir os dispositivos acima descritos é a capacidade de viajar através de vastas distâncias interestelares.

Uma maneira possível de o fazer é usar a máquina warpdrive de Alcubierre, que foi proposta em 1994 pelo físico Miguel Alcubierre. Uma máquina warpdrive não altera a tipologia do espaço abrindo um buraco e saltando para o hiperespaço. Apenas contrai o espaço à nossa frente e expande o espaço atrás de nós. Suponha que caminhamos sobre um tapete para chegar a uma mesa. Em vez de caminhar no tapete, podemos laçar a mesa e puxá-la lentamente para nós, fazendo com que o tapete se junte à nossa frente. Assim, pouco nos movemos; em vez disso, foi o espaço à nossa frente que se comprimiu.

Recorde que o próprio espaço se pode expandir mais depressa do que a velocidade da luz (uma vez que não está a ser transferida nenhuma informação através da expansão do espaço do vazio). De modo semelhante, pode ser possível viajar mais depressa do que a velocidade da luz contraindo o espaço com velocidade superior à da luz. De facto, quando viajamos para uma estrela vizinha, quase não precisamos de deixar a

Terra; bastaria colapsar o espaço à nossa frente e expandir o espaço atrás de nós. Em vez de viajarmos para Alpha Centauri, a estrela mais próxima, traríamos Alpha Centauri até nós.

Alcubierre mostrou que esta é uma solução possível das equações de Einstein - o que significa que se inscreve nas leis da física. Mas há um preço a pagar. Teríamos de empregar grandes quantidades de energia negativa e positiva para fazer viajar a nave espacial. (A energia positiva podia ser usada para comprimir o espaço à nossa frente e a energia negativa para aumentar a distância à nossa retaguarda). Para usar o efeito de Casimir para criar esta energia negativa, as lâminas teriam de ser separadas pela distância de Planck, 10^{-33} cm - demasiado pequena para ser conseguida por meios comuns. Para construir essa nave espacial, seria necessário construir uma grande esfera e colocar lá dentro os passageiros. Nos lados da bolha, colocaríamos uma banda de energia negativa ao longo do equador. Os passageiros dentro da bolha nunca se mexeriam, mas

o espaço em frente da bolha comprimir-se-ia mais depressa do que a luz, pelo que, quando os passageiros deixassem a bolha, teriam alcançado uma estrela vizinha.

Neste original artigo, Alcubierre mencionou que a sua solução podia não só levar-nos até às estrelas, como também poderia tornar possíveis as viagens no tempo. Dois anos depois, o físico Allen E. Everett mostrou que, se tivéssemos duas destas naves espaciais, as viagens no tempo seriam possíveis aplicando warpdrive em sucessão. Como diz Gott, tisico de Princeton: «Assim, parece que Gene Roddenberry, o criador de Star Trek, tinha razão ao incluir todos esses episódios de viagens no tempo!»

Mas uma análise posterior feita pelo tisico russo Sergei Krasnikov mostrou que a solução tinha um defeito técnico. Mostrou que o interior da nave espacial não está conectado com o espaço exterior da nave, pelo que as mensagens não podem atravessar a fronteira - isto é, uma vez dentro da nave, não é possível mudar a sua

trajectória, que tem de ser estabelecida antes de iniciada a viagem. Isto é frustrante. Por outras palavras, não é possível «ler uma bússola» e estabelecer um percurso que nos conduza à estrela mais próxima, o que não significa que essa nave espacial teórica possa ser uma estrada para as estrelas, um sistema interestelar donde as naves espaciais partem a intervalos regulares. Era possível, por exemplo, construir esta estrada começando por usar foguetões convencionais que viajam com velocidade inferior à da luz para construir estações a intervalos regulares entre as estrelas. Então, a nave espacial viajaria entre estas estações a uma velocidade superior à da luz, de acordo com um horário, com partidas e chegadas fixas.

Gott escreve: «Uma futura supercivilização talvez possa estabelecer trajectórias warpdrive entre as estrelas para as naves espaciais atravessarem, tal como pode estabelecer ligações de buracos de verme entre as estrelas". Talvez seja mais fácil criar uma rede de trajectórias de

warpdrive do que uma trajectória de buracos de verme, porque os warpdrive exigem apenas uma alteração do espaço existente e não o estabelecimento de novos buracos que conectem regiões distantes.».[11]

Mas precisamente porque essa nave espacial tem de viajar no Universo existente, não pode ser usada para escapar do Universo. Apesar disso, a drive de Alcubierre podia ajudar a construir um dispositivo que permitisse escapar do Universo. Essa nave espacial podia ser útil, por exemplo, para criar as cordas cósmicas que colidem mencionadas por Gott, que podem levar uma civilização avançada ao seu próprio passado, quando o seu Universo era muito mais quente.

PASSO NOVE: USAR ENERGIA NEGATIVA A PARTIR DE ESTADOS COMPRIMIDOS

No capítulo 5, referi que os feixes de laser podem criar «estados comprimidos» que podem ser usados para gerar matéria negativa que, por

sua vez, permite abrir e estabilizar buracos de verme. Quando um impulso de laser potente atinge uma matéria óptica especial, cria pares de fotões no seu rasto. Estes fotões aumentam alternadamente e suprimem as flutuações quânticas que se encontram no vácuo, gerando pulsos de energia positiva e negativa. A soma destes dois pulsos de energia produz sempre uma energia positiva, pelo que as leis conhecidas da física não são violadas.

Em 1978, o físico Lawrence Ford, da Universidade de Tufts, investigou três leis a que essa energia negativa tem de obedecer e, desde então, essas leis têm sido motivo de intensa investigação. Em primeiro lugar, Ford descobriu que a quantidade de energia negativa num pulso está inversamente relacionada com a sua extensão espacial e temporal - isto é, quanto mais forte for o pulso de energia negativa, mais curta é a sua duração. Assim, se libertarmos uma enorme quantidade de energia negativa com um laser para abrir um buraco de verme, ele apenas pode durar

um período de tempo muito curto. Em segundo lugar, um pulso negativo é sempre seguido por um pulso de energia positiva de magnitude maior (assim, a soma continua a ser positiva). Em terceiro lugar, quanto maior for o intervalo entre estes dois pulsos, maior tem de ser o pulso positivo.

De acordo com estas leis gerais, é possível quantificar as condições sob as quais um laser ou as lâminas de Casimir podem produzir energia negativa. Primeiro, é possível tentar separar o pulso de energia negativa do subsequente pulso de energia positiva fazendo incidir um feixe de laser numa caixa e fechando-a imediatamente depois do pulso de energia negativa entrar. Consequentemente, só o pulso de energia negativa teria entrado na caixa. Em princípio, por este processo podem ser extraídas grandes quantidades de energia negativa, a que se segue um pulso de energia positiva ainda maior (que é mantido na caixa pelo postigo). O intervalo entre os dois pulsos pode ser muito longo, dependendo da

quantidade de energia do pulso positivo. Em teoria, esta parece ser uma maneira ideal de gerar quantidades ilimitadas de energia negativa através de uma máquina do tempo ou de um buraco de verme.

Infelizmente, há uma armadilha. O acto de fechar o postigo cria um segundo pulso de energia positiva dentro da caixa. A menos que sejam tomadas precauções extraordinárias, o pulso de energia negativa é eliminado, o que seria um evento tecnológico para uma civilização avançada resolver -desintegrar um potente pulso de energia negativa a partir do pulso subsequente de energia positiva sem ter um pulso secundário que elimine a energia negativa.

Estas três leis podem ser aplicadas ao efeito de Casimir. Se produzirmos um buraco de verme com um metro de tamanho, temos de ter energia negativa concentrada numa banda que não tem mais de 10^{-22} m (um milionésimo do tamanho do protão). Uma vez mais, só uma civilização extremamente avançada seria capaz de criar a

tecnologia necessária para manipular estas distâncias ou estes intervalos de tempo incrivelmente pequenos.

PASSO DEZ: ESPERAR POR TRANSIÇÕES QUÂNTICAS

Como vimos no capítulo dez, os seres inteligentes que enfrentam o arrefecimento gradual do seu Universo podem ter de pensar mais devagar e hibernar durante longos períodos de tempo. Este processo de diminuir a velocidade do pensamento pode prolongar-se durante triliões e triliões de anos, o tempo suficiente para que ocorram eventos quânticos. Normalmente, podemos menosprezar a criação espontânea de universos bolha e transições para outros universos quânticos, porque seriam eventos extremamente raros. No entanto, na fase 5, os seres inteligentes podem pensar tão lentamente que esses eventos quânticos se podem tomar relativamente comuns. No seu próprio tempo subjectivo, a velocidade do seu pensamento pode parecer-lhes perfeitamente normal, embora a escala do tempo real seja tão

longa que os eventos quânticos se transformam numa ocorrência normal.

Se assim for, esses seres apen

as terão de esperar até os buracos de verme aparecerem e as transições quânticas ocorrerem, para escapar para outro Universo. (Embora esses seres possam ver as transições quânticas como uma coisa comum, o problema que se coloca é que estes eventos quânticos são totalmente imprevisíveis; seria dificil fazer a transição para outro Universo, quando não se sabe exactamente quando o portão pode abrir e onde ele pode levar. Estes seres podem ter de agarrar a oportunidade de escapar do Universo logo que um buraco de verme abre, antes de terem a oportunidade de analisar completamente as suas propriedades.)

PASSO ONZE: A ÚLTIMA ESPERANÇA

Suponhamos, por momentos, que todas as experiências futuras com buracos de verme e buracos negros enfrentam um problema aparentemente intransponível: que os únicos buracos de verme estáveis são de tamanho microscópico ou

subatómico. Imaginemos também que uma viagem real através de um buraco de verme pode provocar tensões insuportáveis no nosso corpo, mesmo que viajemos numa cápsula protectora. Quaisquer desafios, como as intensas forças de maré, os campos de radiação, a queda de destroços, se revelarão letais. Se for esse o caso, a vida inteligente no nosso Universo terá apenas uma opção para o futuro: injectar informação suficiente num Universo novo, para recriar a nossa civilização no outro lado do buraco de verme.

Na natureza, quando os organismos vivos enfrentam um meio hostil, por vezes desenvolvem engenhosos processos de sobrevivência. Alguns mamíferos hibernam. Alguns peixes e rãs têm substâncias químicas anticongelantes que circulam nos fluidos do seu corpo que lhes permitem viver congelados. Os fungos evitam a extinção transformandose em esporos. De modo semelhante, os seres humanos podem ter de encontrar uma maneira de alterar a sua existência física, para sobreviverem à viagem para outro Universo.

Pensemos no carvalho que dispersa pequenas sementes em todas as direcções. As sementes são (a) pequenas, resinosas e compactas; (b) conservam todo o conteúdo de ADN da árvore; (c) são concebidas para percorrer uma certa distância a partir da árvore mãe; (d) contêm alimento suficiente para começar o processo de regeneração numa terra distante; (e) ganham raiz consumindo nutrientes e energia do solo, vivendo na nova terra. De modo análogo, uma civilização podia tentar imitar a natureza e enviar a sua «semente» através de um buraco de verme, recorrendo a mais avançada nanotecnologia disponível daqui a milhares de milhões de anos, para copiar todas estas propriedades fundamentais.

Como Stephen Hawking disse: «Parece ... que a teoria quântica permite as viagens no tempo numa base microscópica».[12] Se Hawking tiver razão, os membros de uma civilização avançada podiam decidir alterar o seu físico, de modo a sobreviverem à árdua jornada retrocedendo no tempo ou escapando para outro

Universo, fundindo o carbono com o silício e reduzindo as suas consciências a pura informação. Em última análise, os nossos corpos, baseados em carbono, podem ser demasiado frágeis para aguentar o sofrimento físico de uma viagem desta magnitude. Num futuro distante, talvez possamos fundir a nossa consciência com as nossas criações robóticas, recorrendo à engenharia avançada de ADN, à nanotecnologia e à robótica. Isto pode parecer bizarro face aos padrões actuais, mas uma civilização a milhares de milhões ou biliões de anos no futuro podia achar que esta era a única maneira de sobreviver.

Podiam precisar fundir os seus cérebros e personalidades directamente em máquinas, o que poderia ser feito de várias maneiras. Era possível criar um programa de software sofisticado, capaz de duplicar todos os nossos processos de pensamento, que tivesse uma personalidade idêntica à nossa. Mais ambicioso é o programa defendido por Hans Moravec, da Universidade de Carnegie Mellon. Alega ele que, no futuro

distante, poderemos reproduzir, neurónio a neurónio, a arquitectura do nosso cérebro em transístores de silício. Cada conexão neuronal do cérebro será substituída por um transístor correspondente que duplicará a função dos neurónios de um robô.[13]

Como as forças das marés e os campos de radiação serão provavelmente intensos, as civilizações futuras terão de transportar o mínimo absoluto de combustível, de protecção e de nutrientes necessários para recriar a nossa espécie no outro lado do buraco de verme. Através da nanotecnologia, talvez fosse possível enviar cadeias microscópicas através do buraco de verme dentro de um dispositivo que não seria maior do que uma célula.

Se o buraco de verme fosse muito pequeno, na escala de um átomo, os cientistas teriam de enviar grandes nanotubos feitos de átomos individuais, codificados com grandes quantidades de informação suficiente para recriar toda a espécie no outro lado. Se o buraco de verme tivesse

apenas o tamanho de uma partícula subatómica, os cientistas teriam de procurar uma maneira de enviar núcleos através do buraco de verme que captaria os electrões no outro lado e de se reconstruir em átomos e moléculas. Se um buraco de verme fosse ainda mais pequeno do que isso, talvez se pudessem usar feixes de laser de raios X ou de raios gama de pequeno comprimento de onda para enviar códigos sofisticados através do buraco de verme, com instruções sobre o modo como reconstruir a civilização no outro lado.

O objectivo dessa transmissão seria construir um «nanobô» microscópico do outro lado do buraco de verme, cuja missão seria encontrar um meio adequado onde regenerar a nossa civilização. Como seria construído numa escala atómica, não precisaria de grandes foguetões de propulsão ou de grande quantidade de combustível para encontrar um planeta apropriado. De facto, podia aproximar-se sem esforço da velocidade da luz, porque é relativamente fácil enviar partículas subatómicas a velocidades próximas da

velocidade da luz usando campos eléctricos. Além disso, não seria necessário sistema de suporte de vida ou outras peças grosseiras de hardware, uma vez que o conteúdo principal do nanobô é apenas a informação necessária para regenerar a raça.

Quando o nanobô encontrasse um novo planeta, criaria uma grande fábrica usando a matéria bruta já disponível no planeta para construir muitas réplicas de si próprio e fazer um grande laboratório de clonagem. As sequências necessárias de ADN podiam ser produzidas neste laboratório e injectadas em células para começar o processo de regeneração de todo o organismo e, finalmente, de toda a espécie. No laboratório, estas células transformar-se-iam em seres adultos, cujo cérebro conteria a memória e a personalidade do humano original.

Em certo sentido, este processo seria semelhante a injectar o nosso ADN (o conteúdo total de informação de uma civilização de tipo III ou superior) numa «célula ovo», com instruções

genéticas capazes de recriar um embrião no outro lado. O «ovo fertilizado» seria compacto, robusto e móvel, mas conteria toda a informação necessária para recriar uma civilização do tipo III. Uma célula humana típica contém apenas 30 000 genes, dispostos em 3 mil milhões de pares de base de ADN, mas esta peça concisa de informação é suficiente para recriar um ser humano utilizando recursos encontrados fora do esperma (o alimento fornecido pela mãe). De modo semelhante, o «ovo cósmico» consistiria na totalidade de informação necessária para regenerar uma civilização avançada; os recursos para o fazer (matéria bruta, solventes, metais, e outros) seriam encontrados no outro lado. Deste modo, uma civilização avançada, como uma civilização de tipo III Q, pode utilizar toda a sua formidável tecnologia para enviar informação suficiente (cerca de 10^{24} bits de informação) através de um buraco de verme para recriar a sua civilização no outro lado.

Devo salientar que todos os passos que mencionei neste processo estão, por enquanto, tão longe das capacidades actuais que terão de ser entendidos como ficção científica. Mas, daqui a milhares de milhões de anos, este pode ser o único caminho para a salvação de uma civilização de tipo III Q que enfrente a extinção. Certamente, não há nada nas leis da física ou da biologia que evite que isto ocorra. A minha opinião é que a morte definitiva do nosso Universo pode não significar necessariamente a morte da inteligência. Evidentemente, se for possível transferir inteligência de um Universo para outro, fica em aberto a possibilidade de uma forma de vida proveniente de outro Universo, que enfrente o seu próprio bigfreeze, tentar esconder-se nalgum lugar distante mais quente e mais hospitaleiro do nosso Universo.

Por outras palavras, a teoria do campo unificado, em vez de ser uma curiosidade inútil, embora elegante, pode, em última instância,

fornecer o projecto para a sobrevivência da vida inteligente no Universo.

CAPÍTULO DOZE
Para Além do Multiverso

A Bíblia ensina-nos como ir para o céu e não como vai o céu.
Cardeal Baronius, citado por Galileu durante o seu julgamento

Porq
é que
há al-
guma
coisa
em vez
de não
haver
nada?
A in-
quietaçã
que
mantém
im-
parável
o reló-
gio da
metafísic
é o
pensame
de que
a não
ex-
istên-
cia do
mundo
é tão
possível

como a sua existência.

William James

A experiência mais bela que podemos ter é o mistério. É a emoção fundamental que está na origem

da verdadeira arte e da verdadeira ciência. Quem não o souber, e já não puder admirar-se nem maravilharse, está morto e os seus olhos não

poder-ão ver. Albert Ein-stein

EM 1863, THOMAS H. HUXLEY ESCREVEU: «A questão de todas as questões da humanidade, o problema que está por trás de todos os outros, e é mais interessante que qualquer deles, é o da determinação do lugar do homem na Natureza e a sua relação com o Cosmos.»[1]

Huxley tomou-se conhecido como o «bulldog de Darwin», o homem que defendeu ferozmente a teoria da evolução numa Inglaterra vitoriana profundamente conservadora. Para a sociedade inglesa a humanidade erguia-se orgulhosamente no centro da criação; o sistema solar estava no centro do Universo e a humanidade era a obra magna da criação de Deus. Deus criou-nos à Sua verdadeira imagem e semelhança. Desafiando abertamente esta ortodoxia religiosa, Huxley teve

de defender a teoria de Darwin refutando os argumentos da religião estabelecida, contribuindo, assim, para uma compreensão mais científica do nosso papel na árvore da vida. Hoje, reconhecemos que, entre os gigantes da ciência, Newton, Einstein e Darwin desbravaram o terreno que ajudou a definir o nosso verdadeiro lugar no cosmos.

Todos eles enfrentaram as implicações teológicas e filosóficas do trabalho que desenvolveram para determinar o nosso papel no Universo. Na conclusão dos Principia, Newton declara: «O mais belo sistema do Sol, dos planetas e dos cometas só podia provir do desígnio e da vontade de um Ser inteligente e poderoso.» Se Newton descobriu as leis do movimento, então deve haver um legislador divino.

Também Einstein estava convencido da existência daquilo a que ele chamava o «Pai Eterno», mas que era uma entidade que não interferia com os problemas do homem. Em vez de glorificar Deus, o seu objectivo era «ler a mente de

Deus». Dizia: «Quero saber como Deus criou este mundo. Não estou interessado neste ou naquele fenómeno. Quero conhecer o pensamento de Deus. O resto são pormenores Einstein justificaria o seu profundo interesse por estas questões teológicas concluindo: «A ciência sem religião é coxa. Mas a religião sem ciência é cega.»[3]

Darwin, porém, estava desesperadamente dividido sobre o problema do papel da humanidade no Universo. Embora lhe seja atribuída a responsabilidade de ter destronado a humanidade do centro do Universo biológico, confessou na sua autobiografia que se preocupava com «a extrema dificuldade, ou melhor, com a impossibilidade de conceber este imenso e maravilhoso Universo, incluindo o homem com a sua capacidade de olhar para o passado remoto e para o futuro longínquo, como resultado do acaso ou da necessidade cega»[4] Confiou a um amigo: «A minha teologia é um verdadeiro caos.»[5]

Infelizmente, a «determinação do lugar do homem na Natureza e a sua relação com o Cosmos» estava recheada de perigos, especialmente para aqueles que se atreveram a desafiar o dogma rígido da ortodoxia dominante. Não foi por acaso que Nicolau Copérnico escreveu o seu livro pioneiro, De Revolutionibus Orbium Coelestium (Das Revoluções das Orbes Celestes) no leito de morte em 1543, escapando ao mórbido poder da Inquisição. Também foi inevitável que Galileu, que durante tanto tempo foi protegido pelos seus poderosos patronos da família Medici, acabasse por incorrer na ira do Vaticano por popularizar um instrumento que revelou um Universo que contradizia tão abertamente a doutrina da Igreja: o telescópio.

Misturar ciência, religião e filosofia é, de facto, tão arriscado que o grande filósofo Giordano Bruno foi queimado na fogueira, em 1600, nas ruas de Roma, porque se negou a renegar a sua crença de que havia um número infinito de planetas nos céus, que albergavam um número

infinito de seres vivos. Escreveu: «Assim, é engrandecida a excelência de Deus e é manifestada a grandeza do seu reino; ele é glorificado não num, mas em inúmeros sóis; não é glorificado numa única terra, num único mundo, mas num milhar de milhares, ou seja, numa infinidade de mundos.»[6]

O pecado de Galileu e de Bruno não foi o facto de se terem atrevido a divinizar as leis dos céus; o seu verdadeiro pecado foi terem destronado a humanidade do lugar nobre que ela ocupava no centro do Universo. Seriam precisos 350 anos, até que em 1992, o Vaticano apresentasse umas desculpas tardias a Galileu. Ainda não foi apresentado nenhum pedido de desculpa a Bruno.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Desde Galileu, uma série de revoluções subverteu a nossa concepção do Universo e o papel que nele nos cabe. Durante a Idade Média, o Universo era considerado um lugar escuro e proibido. A Terra era um pequeno palco plano, cheio

de corrupção e de pecado, fechado por uma misteriosa esfera celeste onde presságios como cometas aterrorizavam tanto os reis como os camponeses. E se as nossas preces a Deus e à Igreja fossem insuficientes, teríamos de enfrentar a cólera dos críticos, os membros farisaicos da Inquisição e os seus horríveis instrumentos de persuasão. Newton e Einstein libertaram-nos da superstição e do misticismo do passado. Newton deu-nos leis mecânicas precisas, que guiavam os corpos celestes, incluindo o nosso. As leis eram, de facto, tão precisas que os seres humanos se tomaram meros papagaios que debitavam os seus papéis. Einstein revolucionou o modo como o palco da vida era visto. Não só reconheceu que era impossível definir uma medida uniforme de tempo e de espaço, como também concluiu que o próprio palco era curvo. Para além de ter sido substituído por um lençol elástico estendido, o palco também se expandia.

A revolução quântica trouxe-nos uma representação ainda mais bizarra do mundo. Por um

lado, a queda do determinismo significava que as marionetas podiam cortar as suas cordas e desempenhar os seus próprios papéis. O livre-arbítrio foi restaurado, mas à conta de múltiplos resultados incertos. Isto significava que os actores podiam estar em dois lugares ao mesmo tempo e podiam desaparecer e reaparecer. Tomou-se impossível dizer ao certo em que ponto do palco ou em que momento do tempo estavam os actores.

Actualmente, o paradigma sofreu novo desvio com o conceito de multiverso, que pode tomar obsoleta a palavra «Universo». No multiverso, há palcos paralelos, uns por cima dos outros, ligados por alçapões e túneis escondidos. Os palcos, de facto, dão origem a outros palcos, num processo infindável de génese. Em cada palco, emergem novas leis da física. Só alguns destes palcos oferecem condições para a vida e para a consciência.

Hoje, somos actores ainda no acto I, no começo da exploração das maravilhas cósmicas

deste palco. No acto II, se não destruirmos o nosso planeta através da guerra ou da poluição, poderemos deixar a Terra e explorar as estrelas e outros corpos celestes. Mas estamos agora a começar a tomar consciência de que ainda falta a cena final, o acto III,quando a peça termina e todos os actores morrem. No acto III, o palco toma-se tão frio que a vida se toma impossível. A única salvação possível é abandonar o palco através de um alçapão e recomeçar uma nova peça num novo palco.

PRINCÍPIO COPERNICANO VS. PRINCÍPIO ANTRÓPICO

É claro que, na transição do misticismo da Idade Média para a física quântica actual, o nosso papel, o nosso lugar no Universo, sofreu alterações drásticas ao longo das várias revoluções científicas. O nosso mundo tem-se expandido exponencialmente, obrigando-nos a alterar o conceito sobre nós próprios. Perante este progresso histórico, deixo-me por vezes dominar por duas emoções contraditórias, quando fico pasmado

perante o número aparentemente ilimitado de estrelas no firmamento celeste ou quando contemplo as miríades de formas de vida na Terra. Por um lado, sinto-me muito pequeno perante a imensidão do Universo. Quando contemplava a imensa extensão vazia do Universo, Blaise Pascal escreveu: «O silêncio eterno destes espaços infinitos assustame».[7] Por outro lado, não posso deixar de me sentir hipnotizado perante a esplêndida diversidade da vida e a extraordinária complexidade da nossa existência biológica.

Hoje, quando queremos averiguar, do ponto de vista científico, o nosso papel no Universo, há, em certo sentido, dois pontos de vista filosóficos radicalmente opostos representados na comunidade da Física: o princípio copernicano e o princípio antrópico.

O primeiro diz que o nosso papel no Universo não tem nada de especial. (Alguns críticos chamaram-lhe o papel da mediocridade.) Até agora, todas as descobertas astronómicas parecem confirmar este ponto de vista. Copérnico

tirou a Terra do centro do Universo, Hubble deslocou toda a Via Láctea do centro do Universo e deu-nos um Universo em expansão com milhares de milhões de galáxias. A descoberta recente de matéria negra e de energia negra mostra que os elementos químicos com número atómico mais alto que constituem o nosso corpo compreendem apenas 0,03% do conteúdo total de matéria-energia do Universo. Com a teoria da inflação, temos de admitir que o Universo visível é como um grão de areia num Universo plano, muito maior, e que este Universo pode gerar constantemente novos universos. E, finalmente, se a teoria M estiver correcta, teremos de encarar a possibilidade de a dimensão do espaço e do tempo ter de aumentar para onze. Não só fomos expulsos do centro do Universo, como ficámos a saber que o Universo visível é apenas uma pequena fracção de um multiverso muito maior.

Face à grandeza desta realização, não podemos deixar de recordar o poema de Stephen Crane:

Um homem disse ao Universo:
«Senhor, eu existo!»
«No entanto», replicou o Universo,
«Esse facto não criou em mim
Qualquer sentido de obrigação.»[8]

(Recordamo-nos do romance satírico de ficção científica de Douglas Adams Uma Boleia para a Galáxia, onde há um dispositivo chamado o Vórtice da Perspectiva Total, que transforma qualquer pessoa sã num louco furioso. No quarto, há um mapa de todo o Universo com uma pequena seta que indica «Você está aqui»).

Mas, na outra extremidade, temos o princípio antrópico que nos permite compreender que um conjunto milagroso de «acidentes» torna possível a consciência neste nosso Universo tridimensional. Há uma banda de parâmetros absurdamente estreita que toma a vida inteligente uma realidade e acontece que nós florescemos nesta banda. A

estabilidade do protão, o tamanho das estrelas, a existência de elementos mais pesados, etc. tudo parece estar perfeitamente sintonizado para permitir formas complexas de vida e de consciência. É possível debater se esta circunstância fortuita é resultado de um desígnio ou se é acidental, mas ninguém pode contestar a intrincada sintonização necessária para tomar possível a nossa existência.

Stephen Hawking faz notar: «Se a taxa de expansão um segundo após o big bang tivesse sido mais pequena, mesmo por uma parte em mil milhões, [o Universo] teria recolapsado antes de atingir o seu tamanho actual... A probabilidade de um Universo como o nosso não ter emergido de um big bang é muito grande. Julgo que são claras as implicações religiosas.»[9]

Muitas vezes, não apreciamos quão preciosas são, na realidade, a vida e a consciência. Esquecemos que uma coisa tão simples como a água líquida é uma das substâncias mais preciosas do Universo e que, no sistema solar, e talvez mesmo neste sector da galáxia, apenas a Terra (e

talvez Europa, uma das luas de Júpiter) tem água líquida em quantidade. Também é provável que o cérebro humano seja o objecto mais complexo que a natureza criou no sistema solar, talvez até à estrela mais próxima. Quando observamos as imagens da terra sem vida de Marte ou de Vénus, ficamos chocados pelo facto de essas superficies serem totalmente vazias de cidades e de luzes, ou mesmo das complexas substâncias químicas orgânicas da vida. Existem, no espaço exterior, inúmeros mundos desprovidos de vida e de inteligência. Deveríamos, assim, apreciar melhor quão delicada é a vida e reconhecer que o seu florescimento na Terra é um milagre.

O princípio copemicano e o princípio antrópico são, em certo sentido, perspectivas opostas que delimitam os extremos da nossa existência e nos ajudam a compreender o nosso verdadeiro papel no Universo.

Enquanto o princípio copernicano nos obriga a nos confrontar com a vastidão do Universo, e talvez do multiverso, o princípio antrópico

obriga-nos a compreender quão preciosas são, de facto, a vida e a consciência.

Mas, em última instância, o debate entre o princípio copemicano e o princípio antrópico não pode determinar o nosso papel no Universo, a menos que encaremos esta questão numa perspectiva mais ampla, do ponto de vista da teoria quântica.

SIGNIFICADO QUÂNTICO

O mundo da ciência quântica esclarece bastante a questão do nosso papel no Universo, mas de uma perspectiva diferente. Se subscrevermos a interpretação de Wigner do problema do gato de Schrödinger, vemos necessariamente a mão da consciência por toda a parte. A cadeia infinita de observadores, em que cada um vê o observador anterior, acaba por levar a um observador cósmico, talvez o próprio Deus. Nesta representação, o Universo existe porque há uma divindade que o observa. E se a interpretação de Wheeler estiver correcta, então o Universo inteiro é dominado pela consciência e pela

informação. Nesta representação, a consciência é a força dominante que determina a natureza da existência.

O ponto de vista de Wigner, por sua vez, levou Ronnie Knox a escrever o seguinte poema acerca de um encontro entre um céptico e Deus, ponderando se uma árvore existe no quintal, se acaso não existir ninguém para a observar:

Era uma vez um homem que disse: «Deus
Tem pensamentos deveras estranhos,
Se Ele pensa que esta árvore
Continua a existir
Quando não há ninguém no quintal.»[10]

Um anónimo escreveu então a seguinte réplica humorista:

Caro senhor, o seu espanto é estranho,
Eu estou sempre no quintal.
E é por isso que a árvore

Continuará a existir,
Uma vez que é observada pelo
Muito atento a V.Ex.ª - Deus.

Por outras palavras, as árvores existem no quintal, porque um observador quântico está sempre lá para colapsar a função de onda - o próprio Deus.

A interpretação de Wigner coloca a questão da consciência no verdadeiro centro dos fundamentos da Física. Faz eco das palavras do grande astrónomo James Jeans que escreveu: «Há cinquenta anos, o Universo era geralmente considerado como uma máquina ... Quando passamos a extremos de tamanho em qualquer direcção - quer para o cosmos como um todo quer para os recessos mais escondidos do átomo - a interpretação mecânica da Natureza falha. Chegamos a entidades e a fenómenos que não fazem sentido sob o ponto de vista mecânico. A mim parecem-me menos sugestivos de processos mecânicos do que de processos mentais; o Universo parece

estar mais perto de um grande pensamento do que de uma grande máquina.»[11]

Esta interpretação adquire talvez a sua forma mais ambiciosa na teoria do it from bit de Wheeler. «Não se trata apenas de nós estarmos adaptados ao Universo. O Universo também está adaptado a nós.»[12] Por outras palavras, em certo sentido, nós criamos a nossa própria realidade, quando fazemos observações. Ele chama a isto «Criação através da observação». Wheeler acha que vivemos num «Universo participativo».

O biólogo George Wald, laureado com o prémio Nobel, fez eco destas mesmas palavras quando escreveu: «Seria uma coisa triste ser um átomo num Universo sem físicos. E os físicos são feitos de átomos. Um físico é a maneira de um átomo saber que existem átomos».[13] O pastor unitário Gary Kowalski resume esta crença dizendo: «O Universo, pode dizer-se, existe para se celebrar a si próprio e revelarse na sua própria beleza. E se a raça humana é uma faceta do cosmos que se desenvolve para tomar consciência de

si própria, a nossa finalidade tem, certamente, de se preservar e perpetuar o nosso mundo e também estudá-lo e não despojar ou destruir o que levou tanto tempo a construir.»[14]

Nesta linha de raciocínio, o Universo tem um problema: produzir criaturas sensíveis como nós que podem observá-lo para que ele exista. De acordo com esta perspectiva, a verdadeira existência do Universo depende da sua capacidade de criar criaturas inteligentes que o podem observar e, assim, colapsar a sua função de onda.

Podemos consolar-nos com a interpretação que Wigner faz da teoria quântica. Contudo, há uma interpretação alternativa, a interpretação de muitos mundos, que nos oferece uma concepção completamente diferente do papel da humanidade no Universo. Nas interpretações de muitos mundos, o gato de Schrödinger pode estar simultaneamente morto e vivo, pelo simples facto de que o próprio Universo se dividiu em dois universos distintos.

SIGNIFICADO NO MULTIVERSO

É fácil perdermo-nos na infinita multidão de universos da teoria de muitos mundos. As implicações morais destes universos quânticos paralelos são exploradas numa curta história de Lany Niven: «All the Myriad Ways». Nesta história, o detective Gene Trimble investiga uma onda de suicídios misteriosos. Subitamente, por toda a cidade, pessoas sem antecedentes de problemas mentais estão a saltar das pontes, a disparar tiros no seu próprio cérebro ou até a cometer assassínios em massa. O mistério adensa-se quando Ambrose Harmon, o multimilionário fundador da Crosstime Corporation, salta do 36.º andar do seu luxuoso apartamento, depois de ganhar quinhentos dólares ao póquer. Rico, poderoso, bem relacionado, tinha tudo para viver bem; o seu suicídio não faz sentido. Mas Trimble acaba por descobrir um padrão. 20% dos pilotos da Crosstime Corporation suicidaram-se; na verdade, os suicídios começaram um mês depois da fundação da Crosstime.

Aprofundando as suas investigações, o detective descobre que Harmon tinha herdado dos seus avós uma enorme fortuna que esbanjara em empresas temerárias. Podia ter gasto toda a sua fortuna, mas em apostas que lhe trouxessem alguma compensação. Reuniu uma porção de físicos, engenheiros e filósofos para investigar a possibilidade da existência de vestígios de tempo paralelo. Finalmente, acabaram por inventar um veículo que podia entrar numa nova linha de tempo e o piloto trouxe imediatamente uma nova invenção dos Estados Confederados da América. A Crosstime financiou então centenas de missões a linhas de tempo paralelo, onde viriam a descobrir novas invenções que podiam ser trazidas e patenteadas. A Crosstime rapidamente se transformou numa empresa multimilionária, que conferia as patentes às melhores e mais importantes invenções do nosso tempo.

A Crosstime parecia ser a empresa mais bem sucedida do seu tempo, sob a direcção de Harmon.

As linhas do tempo, como descobriram, eram todas diferentes. Descobriram o Império Católico, a América Ameríndia, a Rússia Imperial e numerosos mundos mortos radioactivos que tinham terminado com a guerra nuclear. Mas, finalmente, encontraram uma coisa profundamente perturbadora: cópias de si próprios, que viviam vidas quase idênticas às suas próprias vidas, mas que tinham uma idiossincrasia bizarra. Nesses mundos, fizessem o que fizessem, nada podia acontecer: apesar da dureza do seu trabalho, podiam realizar os seus sonhos mais fantásticos ou viver os mais dolorosos pesadelos. Façam o que fizerem, nalguns universos são bem sucedidos e noutros esperam-nos o insucesso. Independentemente do que fizerem, há um número infinito de cópias de si próprios que tomam a decisão oposta e sofrem todas as consequências possíveis. Porque não tornarem-se assaltantes de bancos se, nalgum outro Universo, conseguirão ficar livres de qualquer punição?

Trimble pensa: «Não havia sorte em parte nenhuma. Todas as decisões eram tomadas em ambos os sentidos. Para cada escolha sensata e num determinado mundo há outra escolha que traz sofrimento. Todas as outras escolhas são possíveis. E assim continuou, ao longo de toda a história.» Um profundo desespero apodera-se de Trimble quando chega a uma conclusão dolorosa, violenta: num Universo onde tudo é possível, nada faz sentido sob o ponto de vista moral. Cai no desespero ao perceber que nós acabamos por não poder controlar o nosso destino, e que o resultado não depende da decisão que tomarmos.

Finalmente, decide seguir o exemplo de Harmon.[15] Puxa de uma arma e aponta-a à cabeça. Mas, no momento em que carrega no gatilho, há um número infinito de universos onde a arma não dispara, onde a bala se desvia para o tecto, onde mata o detective, e assim por diante. A última decisão de Trimble acontece de um número infinito de maneiras num número infinito de universos.

Quando imaginamos o multiverso quântico, deparamos, como Trimble na sua história, com a possibilidade de, apesar de os nossos seres paralelos, que vivem em universos quânticos diferentes, poderem ter precisamente o mesmo código genético, em momentos cruciais da vida, as nossas oportunidades e os nossos sonhos nos levarem por caminhos diferentes, que determinam diferentes histórias de vida e nos conduzem a diferentes destinos.

Estamos muito perto de uma forma deste dilema. É apenas uma questão de tempo, talvez de algumas décadas: a clonagem genética de seres humanos transformar-se-á num facto comum da vida. Embora seja extremamente difícil clonar um ser humano (com efeito, ainda ninguém clonou um primata, quanto mais um ser humano) e as questões éticas sejam profundamente inquietantes, é inevitável que isso venha a acontecer. E quando acontecer, surgirá a questão: os nossos clones têm alma? Somos nós responsáveis pelas acções dos nossos clones? Num

Universo quântico, teremos um número infinito de clones quânticos. Como alguns dos nossos clones quânticos podem praticar más acções, somos nós responsáveis por essas acções? Será que a nossa alma sofre por causa das transgressões dos nossos clones quânticos?

Há uma forma de resolver esta crise existencial quântica. Se nós observarmos o multiverso de mundos infinitos, podemos ser subjugados pelo carácter aleatório e vertiginoso do destino, mas dentro de cada mundo as regras do senso comum da causalidade, na sua maior parte, continuam válidas. Na teoria do multiverso proposta pelos físicos, cada Universo distinto obedece a leis semelhantes às de Newton à escala macroscópica, pelo que podemos viver confortavelmente, sabendo que as nossas acções têm consequências largamente previsíveis. Dentro de cada Universo, as leis da causalidade, na generalidade, aplicam-se rigidamente. Em todos os universos, se cometermos um crime, o mais provável é irmos parar à cadeia. Podemos viver

descansadamente ignorando todas as realidades paralelas que coexistem connosco.

Isto faz-me lembrar a história apócrifa que os físicos, por vezes, contam uns dos outros. Um dia, um físico da Rússia foi a Las Vegas, onde ficou deslumbrado com a opulência capitalista e com a libertinagem que esta cidade pecaminosa oferecia. Aproximou-se imediatamente das mesas de jogo e depositou todo o seu dinheiro na primeira aposta. Quando lhe disseram que esta estratégia era pouco sensata e que falhava face às leis da matemática e das probabilidades, ele replicou: «Sim, tudo isso é verdade. Mas num Universo quântico eu posso ficar rico!» O físico russo poderia estar certo e nalgum mundo paralelo talvez desfrutasse de uma riqueza que estava para além da sua imaginação. Mas, neste Universo particular, arriscou tudo e perdeu. E tem de sofrer as consequências.

O QUE OS FÍSICOS PENSAM SOBRE O SIGNIFICADO DO UNIVERSO

As afirmações provocadoras de Steven Weinberg no seu livro Os Três Primeiros Minutos do Universo reacenderam o debate sobre o significado da vida. Escreve ele: «Quanto mais compreensível o Universo parece, menos objectivos parece ter... O esforço para o compreender é uma das poucas coisas que eleva a vida humana acima do nível da farsa e lhe dá alguma da graciosidade da tragédia.»[16] Weinberg confessou que, de todas as frases que tinha escrito, esta foi a que suscitou as respostas mais acaloradas. Mais tarde, deu origem a uma nova controvérsia com este comentário: «Com ou sem religião, as pessoas boas podem comportar-se bem e as pessoas más podem comportar-se mal; mas a religião já tem levado pessoas boas a praticarem o mal!»[17]

Aparentemente, Weinberg tem um certo prazer diabólico em agitar as águas, ridicularizando as pretensões daqueles que alegam compreender o significado cósmico do Universo. «Durante muitos anos fui um filisteu que se deliciava com assuntos filosóficos»,[18] confessa.

Como Shakespeare, ele acredita que todo o mundo é um palco, «mas a tragédia não está no guião; a tragédia é que não há nenhum guião.»[19]

Weinberg reflecte as palavras do biólogo Richard Dawkins, de Oxford, que proclama: «Num Universo de forças físicas cegas... a algumas pessoas as coisas correm mal e outras têm sorte, o que não tem qualquer explicação óbvia. O Universo que nós observamos tem exactamente as propriedades que devemos esperar que tenha, se, no fundo, não houver nenhum desígnio, nenhum objectivo, nenhum mal e nenhum bem, nada, a não ser indiferença cega e impiedosa».[20]

Na essência, Weinberg está a lançar um desafio. Se as pessoas acreditam que o Universo tem um desígnio, então qual é? Quando os astrónomos perscrutam a vastidão do cosmos, com estrelas gigantes muito maiores do que o nosso Sol, que nascem e morrem num Universo que se tem expandido explosivamente durante milhares de milhões de anos, é dificil ver como foi possível dispor tudo isto com precisão para dar um

objectivo à humanidade que habita num minúsculo planeta que gira em torno de uma estrela obscura.

Embora as suas afirmações tenham gerado muita controvérsia, foram muito poucos os cientistas que as refutaram. Não obstante, quando Alan Lightman e Roberta Brawer entrevistaram alguns eminentes cosmólogos para lhes perguntar se concordavam com Weinberg, curiosamente poucos disseram concordar com as afirmações muito pouco optimistas de Weinberg sobre o Universo. Uma cientista que concordava plenamente com Weinberg era Sandra Faber, do Lick Observatory e da Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, que disse: «Não acredito que a Terra tenha sido criada para as pessoas. Foi um planeta criado por processos naturais e, na sequência desses processos naturais, a vida e a vida inteligente apareceram. Da mesma maneira, penso que o Universo foi criado a partir de um processo natural e que o nosso aparecimento nele foi um resultado perfeitamente natural das leis físicas, na

porção do Universo que ocupamos. Implícita na questão, penso eu, está a existência de uma força motriz que tem uma finalidade que está para além da existência humana. Não acredito nisso. Assim, em última instância, estou de acordo com Weinberg quando ele diz que não tem graça nenhuma de uma perspectiva humana.»[21]

Mas um número muito maior de cosmólogos pensa que Weinberg não tinha razão, que o Universo tem um desígnio, embora os cientistas não o consigam enunciar.

Margaret Geller, professora da Universidade de Harvard, disse: «A minha visão da vida é que a vivemos e que ela é curta. O problema está em ganhar a experiência mais rica que conseguirmos. É o que estou a tentar fazer. Estou a tentar fazer alguma coisa criativa. Tento educar as pessoas.»[22]

E, na verdade, muitos vêem na obra de Deus um desígnio para o Universo. Don Page, da Universidade de Alberta, antigo aluno de Stephen Hawking, disse: «Sim, eu diria que há

definitivamente um desígnio. Não sei quais são todos os desígnios, mas penso que um deles foi o facto de Deus criar o homem para que o homem tivesse a companhia de Deus. Uma finalidade maior talvez fosse o facto de a Criação glorificar Deus.»[23] Até nas regras abstractas da física quântica ele vê a mão de Deus: «Em certo sentido, as leis físicas parecem ser análogas à gramática e à linguagem que Deus quis usar.»[24]

Charles Misner, da Universidade de Maryland, um dos pioneiros do estudo da teoria da relatividade geral de Einstein, partilha da opinião de Page: «A minha sensação é que, na religião, há coisas muito sérias como a existência de Deus e a fraternidade do homem, que são verdades valiosas que, um dia, aprenderemos a apreciar talvez numa linguagem diferente e numa escala diferente ... Assim, eu penso que há ali verdades e, neste sentido, a majestade do Universo é significativa e nós devemos venerar e temer o nosso Criador.»[25]

O problema do Criador levanta a questão: pode a ciência dizer alguma coisa sobre a existência de Deus? O teólogo Paul Tillich disse uma vez que os físicos são os únicos cientistas que podem dizer a palavra «Deus» sem corar.[26] Na verdade, os físicos são os únicos cientistas que procuram resolver uma das grandes questões da humanidade: há um grande desígnio? E, em caso afirmativo, quem é o seu autor? Qual é o verdadeiro caminho para a verdade, a razão ou a revelação?

A teoria de cordas permite-nos considerar as partículas subatómicas como notas de uma corda que vibra; as leis da química correspondem às melodias que se podem tocar nessas cordas; as leis da física correspondem às leis da harmonia que governam estas cordas; o Universo é uma sinfonia de cordas; e a mente de Deus pode ser vista como música cósmica que vibra através do hiperespaço. Se esta analogia for válida, podemos colocar a questão seguinte: existe um compositor? Alguém concebeu a teoria de modo a permitir

a riqueza de universos possíveis que vemos numa teoria de cordas? Se o Universo é como um relógio perfeitamente sintonizado, há um relojoeiro?

Neste sentido, a teoria de cordas lança alguma luz sobre a questão: Deus tinha escolha? Quando Einstein estava a criar as suas teorias cósmicas, fazia sempre a pergunta: como podia eu ter concebido o Universo? Ele tendia para a ideia de que talvez Deus não tivesse escolha na matéria. A teoria de cordas parece justificar esta ideia. Quando combinamos a teoria da relatividade com a teoria quântica, deparamos com teorias que estão cheias de defeitos que estão ocultos, mas são fatais: divergências que surgem e anomalias que destroem as simetrias da teoria. Só a incorporação de simetrias poderosas permite eliminar estas divergências e estas anomalias e a teoria M possui a mais poderosa destas simetrias. Assim, talvez haja uma única teoria que obedeça a todos os postulados a que uma teoria deve obedecer.

Einstein que, muitas vezes, escreveu pormenorizadamente acerca do «Pai Eterno», foi interrogado sobre a existência de Deus. Para ele havia duas espécies de deuses. O primeiro Deus era o Deus pessoal, o Deus que respondia aos suplicantes, o Deus de Abraão, de Isaac, de Moisés, o Deus que separa as águas e faz milagres. No entanto, não é neste Deus que a maior parte dos cientistas acredita.

Einstein escreveu uma vez que acreditava no «Deus de Espinoza que se revela a Si próprio na harmonia daquilo que existe, não num Deus que se preocupa com o destino e as acções dos homens».[27] O deus de Espinoza é o deus da harmonia, o deus da razão e da lógica. Einstein escreve: «Não posso imaginar um Deus que recompensa e pune os objectos da sua criação... Nem posso acreditar que o indivíduo sobreviva à morte do seu corpo».[28]

(No Inferno de Dante, o Primeiro Círculo, perto da entrada para o Inferno, é povoado por pessoas de boa vontade e de boa índole que não

aceitaram Jesus Cristo. No Primeiro Círculo, Dante encontrou Platão e Aristóteles e outros grandes pensadores e luminárias. Como o físico Wilczek observa: «Suspeitamos de que muitos, talvez a maior parte, dos cientistas modernos terão como destino o Primeiro Círculo.»[29]) Mark Twain também podia encontrar-se neste ilustre Primeiro Círculo. Twain definiu a fé como «acreditar naquilo que qualquer palerma sabe que não é verdade.»[30]

De um ponto de vista puramente científico, penso que talvez o argumento mais forte de Einstein e de Espinoza para a existência de Deus venha da Teologia. Se se confirmar experimentalmente que a teoria de cordas é a teoria de tudo, então temos de perguntar de onde vieram as equações. Se a teoria do campo unificado é verdadeiramente única, como Einstein acreditava, então temos de perguntar de onde veio este seu carácter peculiar. Os físicos que crêem neste Deus acreditam que o Universo é tão belo e simples que as suas últimas leis não podiam ter

resultado de um acidente. O Universo podia ter sido totalmente aleatório ou constituído por electrões e neutrinos sem vida, incapazes de criar qualquer vida, quanto mais a vida inteligente.

Se, como eu e alguns outros físicos acreditam, as últimas leis da realidade podem ser descritas por uma fórmula que talvez tenha apenas alguns centímetros de comprimento, então a questão que se coloca é saber de onde vem esta equação.

Como Martin Gardner disse: «Porque é que a maçã cai? Devido à lei da gravidade. Porque é que existe a lei da gravidade? Devido a determinadas equações da teoria da relatividade. Mesmo que os físicos um dia consigam escrever uma última equação a partir da qual possam derivar todas as leis da física, ainda assim, podíamos perguntar: 'Porque é que a equação é essa?'»[31]

CRIAR O NOSSO PRÓPRIO SIGNIFICADO

Finalmente, acredito que a existência de uma única equação que possa descrever todo o Universo de uma maneira ordenada e harmoniosa implica algum tipo de desígnio. Contudo, não acredito que este desígnio confira um significado pessoal à humanidade. Por muito fascinante ou elegante que a formulação final da Física venha a ser, não elevará o espírito de milhares de milhões de seres humanos nem os dotará de desempenho emocional. Nenhuma fórmula mágica proveniente da Cosmologia e da Física poderá atrair as massas e enriquecer a sua vida espiritual.

Para mim, o significado real da vida é que somos nós que criamos o nosso próprio significado. É nosso destino traçar o nosso próprio futuro, e não deixá-lo nas mãos de uma autoridade superior. Einstein confessou uma vez que não era capaz de confortar as centenas de indivíduos bem intencionados que lhe escreviam pilhas de cartas suplicandolhe que revelasse o sentido da vida. Como Alan Guth disse: «Pode fazer essas perguntas, mas não pode esperar que um físico lhe

dê uma resposta sensata. A minha convicção emocional é que a vida tem uma finalidade - em última instância, diria que a finalidade que ela tem é a que nós lhe atribuirmos e não a finalidade que resulta de qualquer desígnio cósmico.»[32]

Acredito que Sigmund Freud, com todas as suas especulações sobre o lado escuro da mente inconsciente, esteve muito perto da verdade, quando disse que o que dá estabilidade e significado à nossa mente é o trabalho e o amor. O trabalho incute-nos um sentido de responsabilidade e de finalidade, dá um objectivo concreto aos nossos labores e aos nossos sonhos. O trabalho é fonte de disciplina e estrutura a nossa vida, para além de nos dar um sentido de orgulho, de cumprimento e de satisfação pelo nosso desempenho. O amor é um ingrediente essencial da vida em sociedade. Sem amor, sentimo-nos perdidos, vazios, desenraizados. Tomamo-nos errantes na nossa própria Terra e perdemos o interesse pelas preocupações dos outros.

Além do amor e do trabalho, acrescentaria dois outros ingredientes que dão significado à vida. Primeiro, desenvolver os talentos de que fomos dotados quando nascemos. Embora sejamos abençoados pelo destino com capacidades e forças diferentes, devemos tentar desenvolvê-las ao máximo, em vez de deixar que se atrofiem e se percam. Todos nós conhecemos pessoas que não desenvolveram as potencialidades que mostraram na infância. Muitos vivem perseguidos pela imagem do que poderiam ter sido. Em vez de acusar o destino, penso que devíamos aceitar-nos tal como somos e tentar realizar os sonhos que estão ao nosso alcance.

Segundo, temos de transformar o mundo num lugar melhor do que aquele que encontrámos. Como indivíduos, temos um papel a cumprir, seja ele sondar os segredos da natureza, limpar o meio ambiente e trabalhar pela paz e pela justiça social ou alimentar o espírito de curiosidade vibrante da juventude sendo seu mentor e guia.

TRANSIÇÃO PARA A CIVILIZAÇÃO DO TIPO I

Na peça de Anton Tchekov As Três Irmãs, no acto II, o Coronel Vershinin proclama: «Dentro de um século ou dois, ou dentro de um milénio, as pessoas viverão de uma maneira diferente e mais feliz. Não estaremos lá para ver - mas é para isso que vivemos e trabalhamos. É para isso que sofremos. É para isso que estamos a contribuir. É essa a finalidade da nossa existência. A única felicidade que podemos conhecer é saber que estamos a trabalhar para esse objectivo.»

Pessoalmente, longe de me sentir deprimido pela imensidão do Universo, estou impressionado com a ideia da existência de mundos inteiramente novos próximas do nosso. Nós vivemos numa época em que estamos a começar a exploração do cosmos com sondas e telescópios espaciais, com as teorias e as equações.

Também me sinto privilegiado por viver num tempo em que o nosso mundo está a dar passos tão heróicos. Estamos vivos para presenciar o que

talvez venha a ser a maior transição da história da humanidade: a transição para uma civilização do tipo 1, talvez a mais significativa, mas também a mais perigosa transição da história da humanidade.

Outrora, os nossos antepassados viveram num mundo cruel e hostil. Durante a maior parte da história, as pessoas tinham uma vida curta, uma vida selvagem, e a esperança média de vida era de cerca de vinte anos. Viviam à mercê do destino, no terror constante das doenças. O exame dos ossos dos nossos antepassados revela que estão incrivelmente gastos, o que testemunha as pesadas cargas que transportavam diariamente; também exibem marcas indiciadoras de doenças e de acidentes horríveis. Mesmo no século passado, os nossos avós viviam sem os beneficios das medidas sanitárias modernas, dos antibióticos, dos aviões a jacto, dos computadores e de outras maravilhas da electrónica.

Os nossos netos, contudo, viverão na alvorada da primeira civilização planetária da

Terra. Se nós não permitirmos que o nosso instinto brutal para a autodestruição nos consuma, os nossos netos poderão viver numa idade em que a miséria, a fome e a doença deixarão de ameaçar o nosso destino. Pela primeira vez na história da humanidade, temos ao nosso dispor os meios para destruir toda a vida na Terra ou para transformar o planeta num paraíso.

Quando era criança, muitas vezes perguntava como seria a vida num futuro longínquo. Hoje, acredito que, se pudesse escolher qualquer outra era da humanidade, eu escolheria esta. Vivemos hoje o tempo mais excitante da história do homem, o ponto culminante de algumas das maiores descobertas cósmicas e avanços tecnológicos de todos os tempos. Estamos a fazer a transição histórica de observadores passivos da dança da natureza para nos transformarmos em coreógrafos dessa dança, com a capacidade de manipular a vida, a matéria e a inteligência. Contudo, a este poder terrível acresce a grande responsabilidade de garantirmos que o fruto dos

nossos esforços será usado sensatamente e para benefício de toda a humanidade.

A geração actual é talvez a geração mais importante da humanidade. Ao contrário das gerações anteriores, temos nas nossas mãos o destino da nossa espécie: ou nos elevamos cumprindo o nosso destino como uma civilização de tipo I ou caímos no abismo do caos, da poluição e da guerra. As decisões que tomarmos irão repercutir-se no presente século. O modo como resolvermos as guerras globais, a proliferação de armas nucleares e a guerra sectária e étnica erguerá ou deitará por terra as bases de uma civilização do tipo I. Talvez a finalidade e o sentido da actual geração sejam garantir a suavidade da transição para uma civilização do tipo I.

A escolha é nossa. Este é o legado da geração actual. Este é o nosso destino.

NOTAS

As obras dos autores citados encontram-se na Bibliografia.

Capítulo Um: Representações do Universo Bebé

1. www.space.com. Fev. 2, 2003
2. Croswell, p. 181.
3. Croswell, p. 173.
4. Britt, Robert www.space.com, Fev. 2, 2003.
5. www.space.com, Jan. 15, 2002.
6. New York Times, Fev. 12, 2003, p. A34.
7. Lemonick, p. 53.
8. New York Times, Out. 29, 2002, p. D4.
9. Rees, p. 3
10. New York Times, Fev. 18, 2003, p. Fl.
11. Rothman, Tony, Discover, Julho, 1987, p. 87.
12. Hawking, p. 88.

Capítulo Dois: O Universo Paradoxal

1. Bell, p. 105.

2. Silk, p. 9.
3. Croswell, p. 8.
4. Croswell, p. 6.
5. Smoot, p. 28.
6. Croswell, p. 1O.
7. New York Times, Março, 10, 2004, p. A l.
8. New York Times, Março, 1O, 2004, p. A 1.
9. Pais2, p. 41.
10. Schilpp, p. 53.
11. A contracção dos objectos que se movem com velocidade aproximada à da luz foi realmente encontrada por Hendrik Lorentz e George Francis FitzGerald pouco antes de Einstein, mas não compreenderam este efeito. Tentaram analisar o efeito num quadro puramente newtoniano, assumindo que a contracção era uma compressão electromecânica dos átomos quando passavam através do «vento do éter». O mérito das ideias de Einstein foi que ele não só construiu toda a teoria da relatividade restrita a partir de

um princípio (a constância da velocidade da luz), mas também o interpretou como um princípio universal da natureza que contrariava a teoria newtoniana. Assim, estas distorções eram propriedades inerentes do espaço-tempo e não distorções electromecânicas da matéria. O grande matemático francês Henri Poincaré talvez tenha estado perto de deduzir as mesmas equações que Einstein. Mas só Einstein tinha o conjunto completo de equações e a profunda compreensão física do problema.

12. Pais2, p. 239.

13. Folsing, p. 444.

14. Parker, p. 126.

15. Brian, p. 102.

16. No frigorífico, por exemplo, um tubo liga o interior e o exterior do sistema. Quando o gás entra no frigorífico, expande-se, o que arrefece o tubo e os alimentos. Quando sai do frigorífico, o tubo contrai-se, e por isso aquece. Também há uma bomba mecânica que conduz o gás através do tubo. Assim, a parte posterior do

frigorífico aquece, enquanto o interior arrefece. As estrelas funcionam de maneira inversa. Quando a gravidade comprime a estrela, esta aquece, até serem atingidas as temperaturas de fusão.

Capítulo três: O Big Bang

1. Lemonick, p. 26.
2. Croswell, p. 37.
3. Smoot, p. 61.
4. Gamowl, p. 14.
5. Croswell, p. 39. 6. Gamow2, p.100.
7. Croswell, p. 40.
8. New York Times, Abril 29, 2003, p. F3.
9. Gamowl, p. 142.
10. Croswell, p. 41.
11. Croswell, p. 42.
12. Croswell, p. 42.
13. Croswell, p. 43.
14. Croswell, pp. 45-46.
15. Croswell, p. III. A quinta e última lição de Hoyle, contudo, foi a mais controversa, porque ele criticou a religião. (Hoyle disse uma

vez, com a sua característica rudeza, que a solução do problema da Irlanda do Norte era prender todos os sacerdotes e clérigos. «Nem todas as disputas religiosas a que assisti ou sobre as quais li são dignas da morte de uma única criança», disse ele. Croswell, p. 43.)

16. Gamowl, 127.
17. Croswell, p. 63.
18. Croswell, pp. 63-64.
19. Croswell, p. 1O1.
20. Embora Zwicky, até ao dia da sua morte, tenha expressado publicamente o seu azedume, porque as suas descobertas científicas foram ignoradas, Gamow manteve-se calmo em público, embora não tenha ganho o Prémio Nobel; no entanto, em cartas particulares, desabafou o seu grande desapontamento. Gamow dedicou os seus consideráveis talentos científicos e a sua criatividade à investigação do ADN, acabando por descobrir um dos segredos sobre o modo como a natureza produz os aminoácidos a partir do ADN. James Watson, premiado com o Nobel,

também reconheceu esse contributo, pondo o nome de Gamow no título da sua recente autobiografia.

21. Croswell, p. 91.

22. Scientific American, Julho, 1992, p. 17.

Capítulo Quatro: Inflação e Universos Paralelos

1. Cole, p. 43.
2. Guth, p. 30.
3. Guth, pp. 186-187.
4. Guth, p.191.
5. Guth, p. 18.
6. Kirschner, p.188.
7. Reesl , p. 171.
8. Croswell, p. 124.
9. Rees2, p. 100.
10. Os cientistas procuraram antimatéria no Universo e descobriram pouca (excepto alguns fluxos de antimatéria perto do núcleo da Via Láctea). Uma vez que a matéria e a antimatéria virtualmente não se distinguem, e obedecem às

mesmas leis da física e da química, é muito dificil considerá-las à parte. Contudo, um dos processos consiste em procurar emissões de raios gama características de 1,02 milhões de electrões-volt. Esta é imagem de marca da presença da antimatéria, porque esta é a energia mínima libertada quando um electrão colide com um antielectrão. Mas, quando perscrutamos o Universo, não encontramos provas de grandes quantidades de raios gama de 1,02 milhões de electrões-volt, o que constitui uma indicação de que a antimatéria é rara no Universo.

11. Cole, p. 190.

12. Scientific American, Junho 2003, p. 70.

13. New York Times, Julho, 23, 2002, p. F7.

14. O limite de Chandrasekhar pode ser derivado pelo raciocínio que se segue. Por um lado, a gravidade actua de modo a comprimir uma estrela anã branca com densidades incríveis, o que aproxima mais os electrões da estrela. Por

outro lado, há o princípio da exclusão de Pauli, que diz que dois electrões não podem ter exactamente os mesmos números quânticos para descrever o seu estado. Isto significa que dois electrões não podem ocupar precisamente o mesmo ponto com as mesmas propriedades, pelo que há uma força líquida que afasta os electrões uns dos outros (além da repulsão electroestática). Isto significa que há uma pressão líquida que empurra para fora, impedindo os electrões de serem esmagados um contra o outro. Podemos, então, calcular a massa da estrela anã branca quando estas duas forças (uma de atracção e outra de repulsão) se anulam uma à outra, o que corresponde ao limite de Chandrasekhar de 1,4 massas solares.

No caso de uma estrela de neutrões, a gravidade esmaga uma bola de neutrões puros, pelo que há um novo limite de Chandrasekhar de aproximadamente 3 massas solares, uma vez que os neutrões também se repelem uns aos outros devido a esta força. Mas, uma vez que uma estrela de

neutrões ultrapassa o limite de Chandrasekhar, colapsará num buraco negro.

15. Croswell, p. 204.

16. Croswell, p. 222.

17. New York Times, Julho, 23, 2002, p. F7.

Capítulo Cinco: Portais Dimensionais e Viagens no Tempo

1. Parker, p. 151.

2. Thome, p. 136.

3. Thome, p. 162. 4. Rees 1, p. 84.

5. Astronomy Magazine, Julho, 1998, p. 44. 6. Rees 1,p. 88.

7. Nahin, p. 81.

8. Nahin, p. 81.

9. Jacob Bekenstein e Stephen Hawking contaram-se entre os primeiros que aplicaram a mecânica quântica à física do buraco negro. De acordo com a teoria quântica, há uma probabilidade finita de uma partícula subatómica poder passar através de um túnel para escapar ao impulso gravitacional do buraco negro e, assim, emitir

lentamente radiação. Isto é um exemplo do efeito de túnel.

10. Thome, p. 137.
11. Nahin, p. 521.
12. Nahin, p. 522.
13. Nahin, p. 522.
14. Gott, p. 104.
15. Gott, p. 104.
16. Gott, p. 11O.
17. Um exemplo bem conhecido de um paradoxo sexual foi apresentado pelo filósofo inglês Jonathan Harrison numa história publicada em 1979, na revista Analysis. Os leitores da revista foram desafiados a explicar esse paradoxo.

A história começa com uma jovem, Jocasta Jones, que, um dia, encontra uma velha arca frigorífica. Dentro dela, está um jovem congelado que está vivo. Depois de o descongelar, descobre que o seu nome é Dum. Dum diz-lhe que tem um livro que descreve como se pode fazer um congelamento profundo, para preservar os seres humanos e como se pode construir uma máquina do

tempo. Os dois apaixonam-se, casam e, pouco depois, têm um filho a quem dão o nome de Dee.

Anos depois, já Dee é um rapaz, segue as pisadas de seu pai e decide construir uma máquina do tempo. Desta vez, Dee e Dum fazem uma viagem ao passado, levando consigo o livro. Contudo, a viagem termina tragicamente e encontram-se ambos perdidos no passado distante, sem alimentos. Compreendendo que o fim está próximo, Dee faz a única coisa possível para continuar vivo, que é matar o pai e comê-lo. Dee segue, então, as instruções do livro e constrói uma enorme arca frigorífica. Para se salvar, congela-se num estado de animação suspensa.

Muitos anos depois, Jocasta Jones descobre a arca frigorífica e decide descongelar Dee. Para não ser reconhecido, Dee diz chamar-se Dum. Apaixonam-se e têm um filho a quem chamam Dee... e o ciclo continua.

Houve uma dúzia de respostas ao desafio de Harrison. Um leitor dizia que era «uma história com implicações extravagantes, que seria

considerada como uma reductio ad abusurdum de uma hipótese dúbia em que este enredo assenta: a possibilidade de viajar no tempo.» Repare que esta história não contém um paradoxo do avô, uma vez que Dee está a cumprir o passado recuando no tempo, para encontrar a sua mãe. Em momento nenhum Dee faz qualquer coisa que tome o presente impossível. (Há um paradoxo de informação, contudo, uma vez que o livro que contém o segredo da animação suspensa e da viagem no tempo aparece do nada. Mas o livro não é essencial para a história.

Outro leitor sublinhou que a história encerra um estranho paradoxo biológico. Como metade do ADN de qualquer indivíduo provém da mãe e a outra metade do pai, tal significa que Dee deve ter metade do seu ADN de Jocasta Jones e metade de seu pai, Dum. No entanto, Dee é Dum. Além disso, Dee e Dum têm de ter o mesmo ADN, porque são a mesma pessoa. Mas isso é impossível, pois, pelas leis da genética, metade dos seus genes vêm da mãe. Poroutras palavras,

as histórias das viagens no tempo em que uma pessoa retrocede no tempo, encontra a sua mãe e age como o pai violam as leis da genética.

Podemos pensar que há uma falha no paradoxo sexual. Se for possível ser mãe e pai ao mesmo tempo, então todo o ADN vem de si próprio. No conto de Robert Heinlein «Ali You Zombies», uma rapariga faz uma operação para mudar de sexo e retrocede no tempo duas vezes para se transformar na sua própria mãe, pai, filho e filha. Contudo, mesmo nesta estranha história, há uma violação subtil das leis da genética.

Em «Ali You Zombies» uma jovem chamada Jane é criada num orfanato. Um dia, encontra um estrangeiro por quem se apaixona. Nasce uma menina, que foi misteriosamente raptada. Jane teve complicações durante a infância e os médicos são obrigados e transformar Jane num homem. Anos depois, este homem encontra um viajante do tempo que o leva para o passado, onde encontra Jane, ainda jovem. Apaixonam-se e Jane fica grávida. Ele rapta o seu próprio filho e

volta para o passado, deixando o bebé, Jane, num orfanato. Jane cresce e encontra um estrangeiro. Esta história quase foge ao paradoxo sexual. Metade dos genes são os de Jane, quando jovem, e a outra metade dos genes são os de Jane estrangeira. No entanto, uma operação de mudança de sexo não pode transformar o cromossoma X num cromossoma Y; por isso, esta história também encerra um paradoxo sexual.

18. Hawking, pp. 84-85.

19. Hawking, pp. 84-85.

20. Finalmente, para resolver estas complexas questões matemáticas, temos de recorrer a um novo tipo de física. Por exemplo, muitos físicos, como Stephen Hawking e Kip Thome, usam aquilo a que chamam aproximação semiclássica - isto é, adoptam uma teoria híbrida. Supõem que as partículas subatómicas obedecem ao princípio quântico, mas permitem que a gravidade seja regular e não quantificada (isto é, eliminam os gravitões dos seus cálculos). Como todas as divergências e anomalias provêm dos gravitões, a

abordagem semiclássica não sofre de infinidades. Contudo, pode mostrar-se matematicamente que a abordagem semiclássica é inconsistente -isto é, conduz a respostas erradas, pelo que os resultados de um cálculo semiclássico não podem merecer confiança, especialmente nas áreas mais interessantes, como o centro de um buraco negro, a entrada para uma máquina do tempo e o instante do big bang. Note-se que muitas das «provas» que afirmam que as viagens no tempo não são possíveis, ou que não é possível passar através de um buraco negro, foram feitas de acordo com a abordagem semiclássica e, deste modo, não são fiáveis. É por isso que temos de obter uma teoria quântica da gravidade como a teoria de cordas e a teoria M.

Capítulo seis: Universos Paralelos Quânticos

1. Bartusiak, p. 62.
2. Cole, p. 68.
3. Cole, p. 68.
4. Brian, p. 185.
5. Bernstein, p. 96.

6. Weinberg2, p. 103. 7. Pais2, p. 318.
8. Barrowl , p. 185.
9. Barrow3, p. 143.
10. Greenel, p. 111.
11. Weinbergl, p. 85.
12. Barrow3, p. 378.
13. Folsing, p. 589.
14. Folsing, p. 591; Brian, p. 199.
15. Folsing, p. 591.
16. Kowalski, p. 156.
17. New York Hera/d Tribune, Setembro, 12, 1933.
18. New York Times, Fev. 7, 2002, p. Al 2.
19. Reesl, p. 244.
20. Crease, p. 67.
21. Barrow l, p. 458.
22. Discover, Junho, 2002, p. 48.
23. Citado em Universos Paralelos, BBC, TV, 2002.
24. Wilczek, pp. 128-129.
25. Reesl, p. 246.

26. Bernstein, p. 131.

27. Bernstein, p. 132.

28. National Geographic News, www.nationalgeographic.com, Jan. 29, 2003.

Capítulo Sete: Teoria M: a Mãe de Todas as Cordas

1. Nahin, p. 147.

2. Wells2, p. 20. 3. Pais2, p. 179.

4. Moore, p. 432. 5. Kaku2, p. 137.

6. Davies2, p. 102.

7. Em princípio, toda a teoria de cordas podia ser resumida no âmbito da nossa teoria do campo das cordas. Contudo, a teoria não estava na sua forma final, uma vez que estava quebrada a invariância evidente de Lorentz. Mais tarde, Witten apresentou uma versão elegante da teoria do campo das cordas bosónicas abertas que era covariante. Posteriormente, o grupo do MIT, o grupo de Quioto e eu construímos a teoria de cordas bosónicas fechadas covariante (que, contudo, era não polinomial e com a qual era dificil trabalhar). Hoje, com a teoria M, o interesse desviou-se

para as membranas, mas não se sabe se é possível construir uma teoria genuína de campo de membranas.

8. Há, realmente, várias razões que levam a teoria de cordas e a teoria M a preferirem dez e onze dimensões. Primeiro, se estudarmos as representações do grupo de Lorentz em dimensões cada vez mais elevadas, descobrimos que, em geral, o número de fermiões cresce exponencialmente com a dimensão, enquanto o número de bosões só cresce linearmente. Assim, só podemos ter uma teoria supersimétrica para dimensões baixas com igual número de fermiões e de bosões. Se analisarmos cuidadosamente a teoria de grupos, verificamos que obtemos um equilíbrio perfeito em dez e onze dimensões (admitindo que temos, no máximo, uma partícula de spin 2 e não de 3 ou mais). Assim, em bases puramente da teoria de grupos, podemos mostrar que dez ou onze são as dimensões preferidas.

Há outras maneiras de mostrar que dez ou onze são «números mágicos». Se estudarmos

diagramas de ciclos superiores, verificamos que, em geral, a unitaridade não é preservada, o que é desastroso para a teoria. Significa que as partículas podem aparecer e desaparecer como que por artes mágicas. Verificamos que, nestas dimensões, a teoria das perturbações restaura a unitaridade.

Também podemos mostrar que em dez ou onze dimensões, é possível fazer desaparecer partículas «fantasma», que são partículas que não respeitam as condições habituais da física das partículas.

Em resumo, podemos mostrar que, nestes «números mágicos», é possível preservar (a) a supersimetria, (b) a finitude da teoria perturbativa; (c) a unitaridade da série perturbativa; (d) a invariância de Lorentz; (e) o cancelamento da anomalia.

9. Conversa privada.

10. Quando os físicos tentam resolver uma teoria complexa, muitas vezes, usam a «teoria da perturbação», ou seja, a ideia de resolver

primeiro uma teoria mais simples e depois analisar pequenos desvios desta teoria. Estes pequenos desvios, por sua vez, dão-nos um número infinito de factores de pequenas correcções à teoria original, idealizada. Cada correcção, em geral simbolizada por um diagrama de Feynman, pode ser graficamente descrita por esquemas que representam todas as maneiras possíveis de as várias partículas colidirem umas com as outras.

Historicamente, os físicos estavam perturbados pelo facto de os termos da teoria de perturbações se tomarem infinitos, inutilizando todo o programa. Contudo, Feynman e os seus colegas descobriram uma série de truques e de manipulações através das quais podiam remover estes infinitos (e, por isso, ganharam o Nobel em 1965).

O problema da gravidade quântica é que este conjunto de correcções quânticas é actualmente infinito -cada factor de correcção iguala a infinidade, mesmo que usemos os truques descobertos por Feynman e pelos seus colegas. Dizemos que a gravidade quântica «não é renormalizável».

Na teoria de cordas, esta expansão perturbativa é realmente finita, e é fundamentalmente por isso que estudamos a teoria de cordas. (Tecnicamente falando, não existe uma prova absolutamente rigorosa deste facto. No entanto, pode mostrar-se que as classes infinitas de diagramas são finitas e têm sido apresentados argumentos matemáticos, embora pouco rigorosos, que mostram que a teoria é provavelmente finita em todas as ordens). Contudo, a expansão da perturbação só por si não pode representar o Universo tal como o conhecemos, visto que preserva a supersimetria perfeita que nós não observamos na natureza. Verificamos que, no Universo, as simetrias estão quebradas (por exemplo, não temos qualquer prova experimental da existência de superpartículas). Por conseguinte, os físicos pretendem uma descrição «não perturbativa» da teoria de cordas, o que é extremamente dificil. De facto, no presente, não há uma maneira uniforme de calcular correcções não perturbativas de uma teoria quântica de

campos. Há muitos problemas que constroem uma descrição não perturbadora. Por exemplo, se quisermos aumentar a intensidade das forças da teoria, isso significa que cada termo da teoria de perturbações se toma cada vez maior, pelo que a teoria de perturbações deixa de fazer sentido. Por exemplo, a soma 1 + 2 +3 + 4... não faz sentido, uma vez que cada termo se toma cada vez maior.

A vantagem da teoria M é que, pela primeira vez, podemos estabelecer resultados não perturbadores através da dualidade. Isto significa que se pode mostrar que o limite não perturbativo de uma teoria de cordas é equivalente a outra teoria de cordas.

11. A teoria de cordas e a teoria M representam uma abordagem radicalmente nova da relatividade geral. Ao passo que Einstein construiu a teoria da relatividade geral em tomo do conceito do espaço-tempo curvo, a teoria de cordas e a teoria M são construídas em tomo do conceito de um objecto extenso, como uma corda ou uma membrana, que se move num espaço

supersimétrico. Finalmente, pode ser possível ligar estas duas representações, mas no presente esta ideia ainda não está bem compreendida.

12. Discover, Agosto, 1991, p. 56.
13. Barrow2, p. 305.
14. Barrow2, p. 205.
15. Barrow2, p. 205.
16. No fim da década de 1960, quando os físicos começaram a procurar uma simetria que pudesse incluir todas as partículas da natureza, a gravidade não foi intencionalmente incluída. Isto deve-se ao facto de haver dois tipos de simetrias. As que se encontram na física das partículas são as que rearranjam as partículas entre si. Mas há outro tipo de simetria, que transforma o espaço no tempo, e estas simetrias do espaço-tempo estão associadas à gravidade. A teoria da gravidade baseia-se não nas simetrias de troca de partículas pontuais, mas nas simetrias de rotações em quatro dimensões: o grupo de Lorentz em quatro dimensões é 0(3,1).

Nessa altura, Sidney Coleman e Jeffrey Mandula demonstraram um teorema célebre que dizia que era impossível combinar simetrias do espaçotempo, que descrevem a gravidade, com as simetrias que descrevem as partículas. Este teorema do não retomo pôs fim às expectativas de construção de uma «simetria mestra» do Universo. Por exemplo, se quiséssemos combinar o grupo de GUT SU(5) com o grupo de relatividade 0(3, 1), o resultado seria catastrófico. Por exemplo, as massas das partículas tomar-se-iam subitamente contínuas deixando de ser discretas. Isto foi frustrante, pois significava que não se podia misturar ingenuamente a relatividade com as outras forças apelando a uma simetria superior, o que significava que era provavelmente impossível uma teoria do campo unificado.

A teoria de cordas, no entanto, resolve todos estes problemas matemáticos espinhosos com a simetria mais poderosa jamais encontrada na física das partículas: a supersimetria. Actualmente, a supersimetria é a única maneira

conhecida para evitar o teorema de Coleman-Mandula. (A supersimetria explora uma falha pequena mas crucial deste teorema. Geralmente, quando introduzimos números como a ou b, supomos que a x b = b x a. Isto foi tacitamente assumido no teorema de Coleman-Mandula. Mas, na supersimetria, introduzimos «supemúmeros» tais que a x b = -b x a. Estes supernúmeros têm propriedades estranhas. Por exemplo, se a x a = O, então a pode ser diferente de zero, o que parece absurdo para números comuns. Se inserirmos supemúmeros no teorema de Coleman-Mandula, verificamos que ele falha.)

17. Em primeiro lugar, resolve o problema da hierarquia, que destrói a GUT. Quando construímos teorias do campo unificado, trabalhamos com duas escalas de massa completamente diferentes. Algumas partículas, como o protão, têm massas idênticas às que se encontram na vida quotidiana. Outras partículas, no entanto, são muito maciças e têm energias comparáveis às que se encontram perto do big bang, como a energia

de Planck. Estas duas escalas de massas têm de ser consideradas separadamente. Contudo, quando factorizamos em correcções quânticas, falhamos. Devido às flutuações quânticas, estes dois tipos de massas começam a misturar-se, porque há uma probabilidade finita de um conjunto de partículas de luz se transformar noutro conjunto de partículas pesadas e vice-versa. Isto significa que deve haver um contínuo de partículas com massas que variam uniformemente entre as massas comuns e as massas enormes que se encontram no big bang, e que claramente não vemos na natureza. É aqui que entra a supersimetria. É possível mostrar que as duas escalas de energia não se misturam numa teoria supersimétrica. Verifica-se um processo de cancelamento perfeito, pelo que as duas escalas nunca interagem uma com a outra. Os termos relativos aos fermiões anulam-se precisamente contra os termos relativos aos bosões, produzindo resultados finitos. De acordo com o que

conhecemos, a supersimetria pode ser a única solução do problema da hierarquia.

Além disso, a supersimetria resolve o problema colocado pela primeira vez pelo teorema de Coleman-Mandula, na década de 1960, que provou que era impossível combinar um grupo de simetria que actuasse sobre os quarks, como SU(3), com uma simetria que actuasse no espaço-tempo, como acontece com a teoria da relatividade de Einstein. Assim, uma simetria unificadora que reunisse as duas era impossível, de acordo com o teorema, o que era desencorajador, porque significava que a unificação era matematicamente impossível. Contudo, a supersimetria oferece uma possibilidade subtil de escapar a este teorema. É uma das muitas descobertas teóricas da supersimetria.

18. Cole, p. 174.
19. Wilzcek, p. 138.
20. www.edge.org. Fev. 10, 2003.
21. www.edge.org. Fev. 10, 2003.
22. Seife, p. 197.

23. Astronomy, Maio, 2002, p. 34.
24. Astronomy, Maio, 2002, p. 34.
25. Discover, Fev. 2004, p. 41.
26. Astronomy, Maio, 2002, p. 39.
27. Discover, Fev. 2004, p. 41.
28. Greenel , p. 343.
29. Mais precisamente, o que Maldacena mostrou foi que a teoria de cordas do tipo II, compactificada num espaço de Sitter a cinco dimensões, era dual para uma teoria do campo conforme de quatro dimensões localizada na sua fronteira. A esperança inicial era que pudesse ser estabelecida uma versão modificada desta bizarra dualidade entre a teoria de cordas e a QCD (Cromodinâmica Quântica) a quatro dimensões, a teoria das interacções fortes. Se tal dualidade pudesse ser construída, representaria uma ruptura, porque seria possível calcular as propriedades das partículas que sofreram interacções fortes, tais como o protão, directamente a partir da teoria de cordas. Contudo, no presente, esta esperança ainda não está concretizada.

30. Scientific American, Agosto, 2003, p. 65.
31. ibid.
32. Greenel , p. 376.

Capítulo Oito: Um Universo Arquitecto?

1. Brownlee e Ward, p. 222.
2. Barrowl , p. 37.
3. www.sciencedaily.com, Julho, 4, 2003.
4. www.sciencedaily.com, Julho, 4, 2003.
5. www.sciencedaily.com, Julho, 4, 2003.
6. Page, Don, «The Importance of the Anthtropic Principle», Pennsylvania State University, 1987.
7. Margenau, p. 52. 8. Rees2, p. 166.
9. New York Times, Out. 29, 2002, p. D4.
10. Lightrnan, p. 479.
11. Rees l , p. 3.
12. Rees2, p. 56.
13. Rees2, p. 99.
14. Discover, Nov. 2000, p. 68.
15. Discover, Nov. 2000, p. 66.

Capítulo Nove: Em Busca de Ecos da Décima Primeira Dimensão

1. Croswell, p. 128.
2. Bartusiak, p. 55.
3. Este desvio ocorre de duas maneiras. Como os satélites próximos da terra viajam a 29 000 quilómetros por hora, a relatividade restrita assume o controlo e o tempo desacelera no satélite. Isto significa que os relógios no satélite parecem desacelerar um pouco em comparação com os relógios na Terra. Mas como o satélite experimenta um campo gravitacional mais fraco no espaço exterior, o tempo também acelera, devido à relatividade geral. Assim, dependendo da distância a que o satélite está da Terra, os relógios do satélite ou desaceleram (devido à relatividade restrita) ou aumentam a velocidade (devido à relatividade geral). De facto, a uma certa distância da Terra, os dois efeitos equilibram-se perfeitamente e o relógio do satélite trabalhará à mesma velocidade do que um relógio na Terra.
4. Newsday, Set. 17, 2002, p. A46.

5. Newsday, Set, 17, 2002, p. A47.
6. Bartusiak, p. 152.
7. Bartusiak, pp. 158-59.
8. Bartusiak, p. 154.
9. Bartusiak, p. 158.
10. Bartusiak, p. 150.
11. Bartusiak, p. 169.
12. Bartusiak, p. 170.
13. Bartusiak, p. 171.
14. A radiação de fundo cósmico medida pelo satélite WMAP remonta a 379 000 anos depois do big bang, quando os átomos começaram a condensar-se depois da explosão inicial. Contudo, as ondas de gravidade que o LISA pode detectar remontam ao momento em que a gravidade se começou a separar das outras forças, o que ocorreu perto do instante do próprio big bang. Por isso, alguns físicos acreditam que o LISA será capaz de verificar ou determinar muitas das teorias que são propostas hoje, incluindo a teoria de cordas.
15. Scientific American, Nov. 2001, p. 66.

16. Petters, p. 7, II.
17. Scientific American, Nov. 2001, p. 68.
18. Scientific American, Nov. 2001, p. 68.
19. Scientific American, Nov. 2001, p. 70.
20. Scientific American, Nov. 2001, p. 69.
21. Scientific American, Março 2003, p. 54.
22. Scientific American, Março 2003, p. 55.
23. Scientific American, Março 2003, p. 59.
24. www.space.com, Fev. 27, 2003.
25. Scientific American, Julho 2000, p. 71.
26. Scientific American, Junho, 2003, p. 75.
27. Nos últimos dias de audiências sobre o destino do SSC, um congressista fez a pergunta de mil milhões: que encontraremos com esta máquina? Infelizmente, a resposta dada foi o bosão de Higgs. Quase se podiam ouvir os queixos a cair no chão; 11 mil milhões de dólares para outra partícula? Uma das últimas perguntas foi

feita pelo Republicano Harris W. Fawell (R-111): «Esta máquina permitir-nos-á encontrar Deus?» O Republicano Don Ritter (R-Penn) acrescentou então: «Se esta máquina faz isso, vou apoiá-la.» (Weinbergl , p. 244). Infelizmente, os físicos não deram uma resposta convincente e persuasiva aos congressistas.

Como resultado deste e de outros erros de relações públicas, o SSC foi cancelado. O Congresso dos Estados Unidos tinha-nos dado mil milhões de dólares para escavar o buraco para a máquina. Depois, o congresso cancelou o projecto e deu-nos um segundo milhar de milhões de dólares para encher o buraco. O congresso, na sua sabedoria, deu-nos dois mil milhões de dólares para escavar um buraco e depois tapá-lo, fazendo dele o buraco mais caro da história.

(Pessoalmente, penso que o pobre físico que teria de responder a essa questão acerca de Deus devia ter dito: «Senhor, pode ou não encontrar Deus, mas a nossa máquina levar-nos-á tão próximo de Deus quanto é humanamente possível,

qualquer que seja o nome que queira chamar à divindade. Pode revelar o segredo do Seu maior acto, a criação do Universo.»)

28. Greenel , p. 224

29. Greenel , p. 225. 30. Kaku3, p. 699.

Capítulo Dez: O Fim de Tudo

1. Esta lei, por sua vez, significa que «as máquinas do movimento perpétuo» que pretendem obter «alguma coisa a partir do nada» não são possíveis com as leis conhecidas da física.

2. Barrowl, p. 658.

3. Reesl, p. 194.

4. Reesl , p. 198.

5. www.sciencedaily.com, Maio 28, 2003; Scientific American. Agosto 2003, p. 84.

6. Croswell, p. 231.

7. Croswell, p. 232.

8. Astronomy Magazine, Nov. 2001, p. 40.

9. www.abcnews.com, Jan. 24, 2003.

10. Reesl , p. 182.

11. Discover, Julho, 1987, p. 90.

12. Scientific American, Nov., 1999, p. 60-63.

13. Scientific American, Nov. 1999, p. 60-63.

Capítulo Onze: Fugir do Universo

1. Rees3, p. 182.

2. Isto também se pode aplicar a uma cultura do tipo I. Em muitos países do Terceiro Mundo, uma elite que fala a língua local e o inglês também tem conhecimento das últimas novidades da cultura e da moda ocidentais. Uma civilização do tipo I pode então ser bicultural, com uma cultura planetária que se difunde por todo o globo, que coexiste com culturas e com costumes locais. Assim, uma cultura planetária não conduz necessariamente à destruição das culturas locais.

3. Scientific American, Julho, 2000, p. 40.

4. Scientific American, Julho, 2000, p. 40.

5. Scientific American, Julho, 2000, p. 40.

6. Dyson, p. 163.

7. Pode conceber-se que haja uma civilização ainda mais avançada do que a de tipo III, que explora o poder da energia negra, que perfaz 73% do conteúdo total da matéria/energia do Universo. Na série de TV Star Trek -O Caminho das Estrelas, o Q qualificaria tal civilização, uma vez que o poder de Q compreende as galáxias.

8. Lightman, p. 169.

9. Lightman, p. 169.

10. Guth, p. 255.

11. Gott, p. 126.

12. Hawking, p. 104.

13. Em princípio, este processo pode ocorrer enquanto o indivíduo está consciente. Quando os bits dos neurónios forem removidos do cérebro, serão criadas para os substituir redes de transístor duplicadas, colocadas no crânio do robô. Como os transístores desempenham a mesma função que os neurónios que foram removidos, o indivíduo estará completamente consciente durante o procedimento. Assim, uma vez

terminada a operação, o indivíduo encontra-se no corpo de um robô de silício e de metal.

Capítulo Doze: Para Além do Multiverso

1. Kaku 2, p. 334.
2. Calaprice, p. 202.
3. Calaprice, p. 213.
4. Kowalski, p. 97.
5. Ibid.
6. Croswell, p. 7
7. Smoot, p. 24
8. Barrow l, p. 106
9. Kowalski, p. 49.
10. Polkinghome, p. 66
11. Kowalski, p. 19.
12. Kowalski, p. 50.
13. Kowalski, p. 71.
14. Kowalski, p. 71.
15. Chown, p. 30.
16. Weinberg3, p. 144.
17. Weinberg2, p. 231.
18. Weinberg2, p. 43.
19. Weinberg2, p. 43.

20. Kowalski, p. 60.
21. Lightman, p. 340.
22. Lightman, p. 377.
23. Lightman, p. 409.
24. Lightman, p. 409.
25. Lightman, p. 248.
26. Weinbergl , p. 242.
27. Weinbergl , p. 245.
28. Kowalski, p. 24.
29. Welczek, p. 100.
30. Kowalski, p. 168.
31. Kowalski, p. 148.
32. Croswell, p. 127.

GLOSSÁRIO

anã branca -Uma estrela na fase final da sua vida, constituída por elementos de número atómico mais baixo como o oxigénio, o lítio, o carbono, etc. As anãs brancas encontram-se depois de uma gigante vermelha esgotar o seu combustível de hélio e sofrer o colapso. Tipicamente, têm aproximadamente o tamanho da Terra e não pesam mais de 1,4 massas solares (se excederem este peso, colapsam).

ano-luz -A distância que a luz percorre num ano, ou seja, aproximadamente 9,46 biliões de quilómetros. A estrela mais próxima está a cerca de quatro anos-luz de distância e a Via Láctea tem cerca de 100 mil anos-luz de diâmetro.

antigravidade -O contrário da gravidade, que seria uma força repulsiva e não atractiva. Hoje, compreendemos que esta força de antigravidade existe, que provavelmente causou a inflação do Universo no começo do tempo e faz com que hoje ele esteja em aceleração. Esta força de antigravidade, contudo, é demasiado pequena para

ser medida no laboratório, pelo que não tem implicações práticas. A antigravidade também é gerada pela matéria negativa (que nunca foi observada na natureza).

antimatéria -O contrário da matéria, inicialmente predita por P. A. M. Dirac, tem a carga oposta à da matéria comum, pelo que os antiprotões têm carga negativa e os antielectrões (positrões) têm carga positiva. Quando entram em contacto, aniquilam-se um ao outro. Até agora, o anti-hidrogénio é o mais complexo anti-átomo produzido no laboratório. O facto de o nosso Universo ser constituído sobretudo de matéria e não de antimatéria é um mistério. Se o big bang tivesse criado quantidades iguais de ambas, então aniquilar-se-iam uma à outra e nós não existiríamos.

barião -Uma partícula como o protão ou o neutrão que obedece a interacções fortes. Os bariões são um tipo de hadrão (uma partícula de interacção forte). A matéria bariónica, sabemo-lo agora, perfaz apenas uma pequena fracção da

matéria do Universo e é muito pouca comparada com a matéria negra.

big bang -A explosão original que criou o Universo, dispersando as galáxias em todas as direcções. Quando o Universo foi criado, a temperatura era extremamente alta e a densidade da matéria enorme. O big bang ocorreu há 13,7 mil milhões de anos, de acordo com os dados do satélite WMAP. A luz remanescente do big bang é vista hoje como a radiação de fundo de micro-ondas. Há três «provas» experimentais do big bang: o desvio para o vermelho das galáxias, a radiação de fundo cósmico de micro-ondas e a nucleossíntese dos elementos.

big crunch -O colapso final do Universo. Se a densidade da matéria for suficientemente grande (se n for maior do que 1), então haverá matéria suficiente no Universo para inverter a expansão original e fazer com que o Universo volte a colapsar. No instante do big crunch, as temperaturas elevam-se até ao infinito.

big freeze -O fim do Universo quando atinge a proximidade do zero absoluto. O bigfreeze é, provavelmente, o estado final do nosso Universo, porque se acredita que a soma de ne A é 1,0 e, assim, o Universo encontra-se num estado de inflação. Não há matéria e energia suficientes para inverter a expansão original do Universo, pelo que, provavelmente, ele se expandirá para sempre.

bosão -Uma partícula subatómica com spin inteiro, como o fotão ou o hipotético gravitão. Os bariões estão unificados com os fermiões através da supersimetria.

brana -Abreviatura de membrana. As branas podem ser de qualquer dimensão até onze. São a base da teoria M, a principal candidata a uma teoria de tudo. Se fizermos um corte transversal numa membrana de onze dimensões, obteremos uma corda de dez dimensões. Uma corda é, por conseguinte, uma 1-brana.

buraco de verme -Uma passagem entre dois universos. Os matemáticos chamam a estas

passagens «espaços multiplamente conectados» - nos quais um laço não pode ser reduzido a um ponto. Não é claro se é possível passar através de um buraco de verme sem o desestabilizar ou sem morrer na tentativa de o atravessar.

buraco negro -Um objecto cuja velocidade de escape é igual à velocidade da luz. Como a velocidade da luz é a velocidade mais elevada do Universo, isso significa que um objecto que atravesse o horizonte de eventos não pode escapar de um buraco negro. Os buracos negros podem ser de vários tamanhos. Os buracos negros galácticos, escondidos no fundo das galáxias e dos quasares, podem pesar milhões a milhares de milhões de massas solares. Os buracos negros estelares são os restos de uma estrela moribunda que originariamente talvez tivesse mais de quarenta

vezes a massa do nosso Sol. Ambos estes buracos negros têm sido identificados com os instrumentos de que dispomos. Os miniburacos negros também podem existir, como é predito

pela teoria, mas ainda não foram observados no laboratório.

buraco negro de Kerr -Uma solução exacta das equações de Einstein que representa um buraco negro em rotação. O buraco negro colapsa numa singularidade de anel. Os objectos que caem no anel experimentam apenas uma força finita de gravidade e podem, em princípio, cair num Universo paralelo. Há um número infinito destes universos paralelos num buraco negro de Kerr, mas ninguém pode sair depois de ter entrado num deles. Ainda não se sabe qual a estabilidade de um buraco de verme no centro de um buraco negro de Kerr. Há problemas teóricos e práticos sérios que tentam navegar através de um buraco negro de Kerr.

campo de Higgs -O campo que desfaz a simetria das GUT, quando se verifica a transição do falso vácuo para o verdadeiro vácuo. Os campos de Higgs são a origem de massa na GUT e também podem ser usados para conduzir a

inflação. Os físicos esperam que o LHC descubra finalmente o campo de Higgs.

candeia padrão -Uma fonte de luz que é padronizada e é a mesma em todo o Universo, permitindo que os cientistas calculem distâncias astronómicas. Quanto mais fraca for a candela, mais distante ela se encontrará. Uma vez conhecida a luminosidade de uma candela padrão, podemos calcular a distância a que se encontra. As candelas padrão usadas hoje são as supemovas do tipo Ia e as Cefeides variáveis.

Cefeides variáveis -Uma estrela cujo brilho varia a uma taxa precisa, calculada e, por isso, serve como uma «vela padrão» para medidas de distância em Astronomia. As Cefeides variáveis foram decisivas para ajudar Edwin Hubble a calcular a distância às galáxias.

civilizações de tipo 1, II e III -A classificação proposta por Nikolai Kardashev para ordenar as civilizações do espaço exterior pela sua capacidade de gerar energia. Correspondem a civilizações que podem utilizar o poder de um planeta,

de uma estrela e de uma galáxia, respectivamente. Até agora, não foram encontradas provas de qualquer delas no espaço. A nossa civilização corresponde provavelmente a uma civilização de tipo 0,7.

COBE -O satélite Cosmic Observer Background Explorer que fornece talvez as provas mais conclusivas da teoria do big bang medindo a radiação dos buracos negros produzida pela bola de fogo original. Os seus resultados têm sido muito aperfeiçoados pelo satélite WMAP.

compactificação -O processo de enrolar ou desenrolar dimensões indesejáveis de espaço e de tempo. Como a teoria de cordas existe num hiperespaço de dez dimensões e nós vivemos num mundo quadridimensional, temos de enrolar seis das dez dimensões numa bola tão pequena que até mesmo os átomos não podem escapar para elas.

comprimento de Planck - 1o-33 cm. Esta é a escala encontrada no big bang quando a força gravitacional era tão forte como as outras forças.

Nesta escala, o espaço-tempo toma-se «espumoso», com pequenas bolhas e buracos de verme que aparecem e desaparecem no vácuo.

constante de Hubble -A velocidade de uma galáxia com desvio para o vermelho a dividir pela sua distância. A constante de Hubble mede a taxa de expansão do Universo e o seu inverso é a medida aproximada da idade deste. Quanto mais pequena for a constante de Hubble, mais antigo será o Universo. O satélite WMAP indicou que a constante de Hubble é de 71 km/s por megaparsec, ou 21,8 km/s por milhão de anos-luz, pondo fim a décadas de controvérsia.

corda cósmica -Um vestígio do big bang. Algumas teorias de gauge predizem que alguns restos do big bang original ainda podem sobreviver na forma de cordas cósmicas gigantescas que são do tamanho das galáxias ou maiores. A colisão de duas cordas pode permitir um determinado tipo de viagem no tempo.

curvas fechadas do tipo tempo -São trajectórias que retrocedem no tempo na teoria de

Einstein. Não são permitidas na relatividade restrita, mas são permitidas na relatividade geral, se tivermos uma concentração suficientemente grande de energia positiva ou negativa.

decoerência -Quando as ondas já não estão em fase umas com as outras. A decoerência pode ser usada para explicar o paradoxo do gato de Schrödinger. Na interpretação de muitos mundos, a função de onda do gato morto desligou-se da função do gato vivo deixando de interagir, explicando, assim, como um gato pode estar morto e vivo ao mesmo tempo. A função de onda do gato morto e a função de onda do gato vivo existem simultaneamente, mas deixam de interagir, porque entraram em decoerência. A decoerência explica de forma simples o paradoxo do gato sem serem necessárias quaisquer hipóteses adicionais, tal como o colapso da função de onda.

densidade crítica -A densidade do Universo onde a expansão do Universo está equilibrada entre a expansão eterna e o recolapso. A densidade crítica, medida em certas unidades, é n = 1

(onde A = O), quando o Universo está em equilíbrio perfeito entre dois futuros alternativos, o bigfreeze e o big crunch. Hoje, os melhores dados do satélite WMAP indicam que Q + A = 1,0, o que se ajusta à previsão da teoria da inflação.

desvio para o azul -O aumento da frequência da luz das estrelas devido ao desvio de Doppler. Se uma estrela amarela se mover na nossa direcção, a sua luz parecerá ligeiramente azulada. No espaço exterior, as galáxias com desvio para o azul são raras. O desvio para o azul também pode ser criado pela contracção do espaço entre dois pontos através da gravidade ou das pregas no espaço.

desvio para o vermelho -O avermelhamento ou diminuição da frequência de luz das galáxias distantes devido ao efeito de Doppler, que indica que se estão a afastar de nós. O desvio para o vermelho também pode ocorrer através da expansão do espaço vazio, como acontece no Universo em expansão.

detector de ondas de gravidade -Uma nova geração de dispositivos que medem pequenas perturbações devidas às ondas de gravidade através de feixes de laser. Os detectores de ondas de gravidade como o LIGO podem, em breve, descobri-las. Os detectores de ondas de gravidade podem ser usados para analisar a radiação emitida nuni trilionésimo de segundo após o big bang. O detector espacial de ondas de gravidade LISA pode mesmo fornecer a primeira prova experimental da teoria de cordas ou de uma outra teoria.

determinismo -A filosofia de que tudo está determinado, incluindo o futuro. De acordo com a mecânica newtoniana, se conhecermos a velocidade e a posição de todas as partículas do Universo, podemos, em princípio, calcular a evolução de todo o Universo. O princípio da incerteza, contudo, provou que o determinismo está incorrecto.

deutério -O núcleo do hidrogénio pesado, constituído por um protão e um neutrão. O

deutério do espaço exterior foi sobretudo criado pelo big bang, e não pelas estrelas, e a sua abundância relativa é responsável pelo cálculo das condições primitivas do big bang. A abundância de deutério também pode ser usada para invalidar a teoria do estado estacionário.

dimensão -Uma coordep.ada ou parâmetro através do qual medimos o espaço e o tempo. O Universo que nos é familiar tem três dimensões de espaço (comprimento, largura e altura) e uma dimensão de tempo. Na teoria de cordas e na teoria M precisamos de dez (onze) dimensões para descrever o Universo; no entanto, só quatro podem ser observadas no laboratório. Talvez a razão porque não vemos essas outras dimensões seja o facto de elas estarem enroladas ou de as nossas vibrações estarem confinadas à superficie de uma membrana.

efeito de Casimir -Energia negativa criada por duas lâminas paralelas infinitamente longas colocadas uma ao lado da outra. As partículas virtuais fora das lâminas exercem mais pressão

do que as partículas virtuais dentro das lâminas, e, por isso, as lâminas são atraídas uma para a outra. Este pequeno efeito tem sido medido no laboratório. O efeito de Casimir pode ser usado como energia para conduzir uma máquina do tempo ou um buraco de verme, se a sua energia for suficientemente grande.

efeito de Doppler -A mudança de frequência de uma onda, quando um objecto se aproxima ou se afasta de nós. Se uma estrela se move na nossa direcção, a frequência da luz aumenta, pelo que uma estrela amarela parece ligeiramente azulada. Se uma estrela se afasta de nós, a frequência da sua luz diminui, pelo que uma estrela amarela parece ligeiramente avermelhada. Esta alteração da frequência da luz também pode ser criada expandindo o próprio espaço entre dois pontos, como no Universo em expansão. Medindo a quantidade de desvio da frequência, podemos calcular a velocidade com que uma estrela se move afastandose de nós.

efeito de túnel -O processo através do qual as partículas podem penetrar barreiras num processo proibido pela mecânica newtoniana. O efeito de túnel é a razão do decaimento radioactivo alfa e é um subproduto da teoria quântica. O próprio Universo pode ter sido criado pelo efeito de túnel. Tem-se colocado a hipótese de ser possível construir túneis entre Universos.

electrão -Uma partícula subatómica com carga negativa que rodeia o núcleo de um átomo. O número de electrões que rodeiam o núcleo determina as propriedades químicas do átomo.

electrão-volt -A energia que um electrão acumula quando se desloca através de uma diferença de potencial de um volt. Por comparação, as reacções químicas envolvem normalmente energias medidas em electrões-volt ou menos, ao passo que as reacções nucleares podem envolver centenas de milhões de electrões-volt. As reacções químicas comuns implicam a redisposição das órbitas de electrões. As reacções nucleares implicam a redisposição das camadas do

núcleo. Hoje, os nossos aceleradores de partículas podem gerar partículas com energias de milhares de milhões a biliões de electrões-volt.

energia de Planck - 1019 milhares de milhões de electrões-volt. Esta pode ser a escala de energia do big bang, quando todas as forças estavam unificadas numa única superforça.

energia negativa -Energia menor do que zero. A matéria tem energia positiva, a gravidade tem energia negativa e as duas podem anular-se uma à outra em muitos modelos cosmológicos. A teoria quântica permite uma espécie diferente de energia negativa, devida ao efeito de Casimir e a outros efeitos, que pode ser usada para conduzir um buraco de verme. A energia negativa é útil para a criação e estabilização dos buracos de verme.

energia negra -A energia do espaço vazio. Introduzida por Einstein em 1917 e depois rejeitada, sabe-se agora que esta energia de nada é a forma dominante de matéria/energia no Universo. A sua origem é desconhecida, mas

pode acabar por conduzir o Universo a um big-freeze. A quantidade de energia negra é proporcional ao

volume do Universo. Os dados mais recentes mostram que 73% da matéria/energia do Universo existe na forma de energia negra.

entropia -A medida da desordem. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia total do Universo aumenta sempre, o que significa que a ordem acaba por diminuir. Aplicada ao Universo, significa que o Universo tenderá para um estado de entropia máxima como um gás uniforme perto do zero absoluto. Para inverter a entropia numa pequena região (como um frigorífico), é preciso recorrer a energia mecânica. Mas num frigorífico, a entropia total aumenta (é por isso que a parte posterior do frigorífico está quente). Alguns acreditam que a segunda lei prevê a morte do Universo.

equação de Maxwell -As equações fundamentais da luz, escritas por James Clerk Maxwell na década de 1860. Estas equações mostram que

os campos eléctrico e magnético podem transformar-se um no outro. Maxwell mostrou que estes campos se transformam um no outro num movimento semelhante a uma onda, criando um campo electromagnético que viaja à velocidade da luz. Maxwell fez então a conjectura audaciosa de que isso era luz.

Escola de Copenhaga -A escola fundada por Niels Bohr, que diz que é necessária uma observação para provocar o «colapso da função de onda», para determinar o estado de um objecto. Antes de se fazer uma observação, um objecto existe em todos os estados possíveis, mesmo os mais absurdos. Como não observamos a existência simultânea de gatos mortos e gatos vivos, Bohr teve de admitir que há uma «parede» que separa o mundo subatómico do mundo que observamos no dia-a-dia através dos nossos sentidos. Esta interpretação tem sido contestada, porque separa o mundo quântico do mundo quotidiano, o mundo macroscópico, embora muitos físicos acreditem agora que o mundo macroscópico

também deve obedecer à teoria quântica. Hoje, devido à nanotecnologia, os cientistas podem manipular os átomos individuais, pelo que nós compreendemos que não há nenhuma «parede» a separar os dois mundos. Por conseguinte, hoje o problema do gato vem de novo à superfície.

esmagador de átomos -O termo coloquial para designar um acelerador de partículas, um dispositivo usado para criar feixes de energia subatómica que viaja com velocidade aproximada à velocidade da luz. O maior acelerador de partículas é o LHC, perto de Genebra, na Suíça.

espaço múltiplo conectado -Um espaço em que um arco não pode ser continuamente reduzido a um ponto. Por exemplo, um arco em redor da superfície de um buraco de donut não pode ser contraído num ponto, pelo que o donut é multiplamente conectado. Os buracos de verme são exemplos de espaços multiplamente conectados, uma vez que um laço não pode ser contraído em tomo da garganta de um buraco de verme.

espaço simplesmente conectado -Um espaço em que qualquer laço pode ser continuamente contraído num ponto. O espaço plano é simplesmente conectado, o que não se verifica com a superficie de um donut ou de um buraco de verme.

espectro -As diferentes cores ou frequências que se encontram na luz. A análise do espectro da luz das estrelas permite determinar que as estrelas são sobretudo constituídas por hidrogénio e hélio.

espuma quântica -Pequenas distorções do espaço-tempo semelhantes a espuma ao nível do comprimento de Planck. Se pudéssemos perscrutar a estrutura do espaço-tempo no comprimento de Planck, veríamos pequenas bolhas e buracos de verme com aparência de espuma.

estrela de neutrões -Uma estrela que colapsou constituída por uma massa sólida de neutrões. Tem geralmente 15 a 25 quilómetros de diâmetro, aproximadamente. Quando gira, liberta energia de uma maneira irregular, criando um

pulsar. É o que resta de uma supernova. Se a estrela de neutrões for muito grande, com cerca de 3 massas solares, pode colapsar num buraco negro.

evaporação do buraco negro -A radiação que irradia de um buraco negro. Há uma probabilidade pequena, mas calculada, de a radiação irradiar suavemente de um buraco negro, o que se chama evaporação. Finalmente, um buraco negro perderá tanta energia através da evaporação quântica que deixará de existir. Esta radiação é demasiado fraca para ser observada experimentalmente.

experiência de Einstein-Podolsky-Rosen -(EPR) Uma experiência concebida para invalidar a teoria quântica, mas que, na realidade, mostrou que o Universo não é local. Se uma explosão envia dois fotões coerentes em direcções opostas, e se o spin é conservado, então o spin de um fotão é oposto ao spin do outro fotão. Assim, medindo um spin, conhecemos automaticamente o outro, embora a outra partícula possa estar no

outro lado do Universo. A informação propagou-se mais depressa do que a luz. (No entanto, nenhuma informação útil, por exemplo uma mensagem, pode ser enviada desta maneira.)

falso vácuo -Estado de vácuo que não tem a energia mais baixa. O estado de falso vácuo pode ser de perfeita simetria, talvez no instante do big bang, pelo que esta simetria se quebra quando descemos para um estado de energia mais baixa. Um estado de falso vácuo é intrinsecamente instável e inevitavelmente é feita uma transição para um verdadeiro vácuo, que tem energia mais baixa. A ideia do falso vácuo é essencial à teoria inflacionária, quando o Universo começou num estado de expansão de Sitter.

fermião -Partícula subatómica com spin meio inteiro, tal como o protão, o electrão, o neutrão e o quark. Os fermiões podem ser unificados com bosões através da supersimetria.

física clássica -A Física anterior ao aparecimento da física quântica, baseada na teoria determinista de Newton. A teoria da relatividade,

porque não incorpora o princípio da incerteza, é parte da Física clássica. A Física clássica é determinista, isto é, dados os movimentos de todas as partículas no presente, podemos prever o futuro.

flutuação quântica -Pequenas variações da teoria clássica de Newton ou de Einstein, devidas ao princípio da incerteza. O próprio Universo pode ter começado como uma flutuação quântica no nada (hiperespaço). As flutuações quânticas no big bang originaram os aglomerados de galáxias actuais. O problema com a gravidade quântica, que, durante muitas décadas, impediu uma teoria do campo unificado, é que as flutuações quânticas da teoria da gravidade são infinitas, o que não faz sentido. Até agora, apenas a teoria de cordas pode eliminar estas flutuações quânticas infinitas da gravidade.

força electromagnética -A força da electricidade e do magnetismo. Quando vibram em unísono, criam uma onda que pode descrever a radiação ultravioleta, rádio, raios gama, etc. que

obedece às equações de Maxwell. A força electromagnética é uma das quatro forças que regem o Universo.

força nuclear forte -A força que mantém o núcleo coeso. É uma das quatro forças fundamentais. Os físicos usam a Cromodinâmica Quântica para descrever as interacções fortes, baseadas em quarks e gluões com simetria SU(3).

força nuclear fraca -A força no interior do núcleo que toma possível o decaimento nuclear. Esta força não é suficientemente forte para manter o núcleo coeso, pelo que o núcleo pode desintegrar-se. A força fraca actua sobre os leptões (electrões e neutrinos) quando transportada pelos bosões W e Z.

fotão -Uma partícula ou quantum de luz. O fotão foi proposto pela primeira vez por Einstein, para explicar o efeito fotoeléctrico -isto é, o facto de a luz que se reflecte num metal produzir a ejecção de electrões.

função de onda -Uma onda que acompanha todas as partículas subatómicas. É a descrição

matemática da onda de probabilidade que localiza a posição de qualquer partícula. Schrödinger foi o primeiro a escrever a equação da função de onda de um electrão. Na teoria quântica, a matéria é composta de partículas pontuais, mas a probabilidade de encontrar a partícula é dada pela função de onda. Dirac, mais tarde, propôs uma equação de onda que incluía a relatividade restrita. Hoje, toda a física quântica, incluindo a teoria de cordas, é formulada com base nestas ondas.

fusão -Processo de combinar protões ou outros núcleos leves de modo a formarem núcleos mais pesados, libertando energia no processo. A fusão do hidrogénio em hélio cria a energia de uma estrela de sequência principal, como o nosso Sol. A fusão dos elementos de luz no big bang dá-nos a abundância relativa de elementos leves como o hélio.

galáxia -Um enorme conjunto de estrelas que geralmente contém cerca de 100 mil milhões de estrelas. Apresentam variedades diferentes,

incluindo elípticas, espirais (normais e espirais com barras) e irregulares. A nossa galáxia chama-se Via Láctea.

gigante vermelha -Uma estrela que consome hélio. Depois de uma estrela como o nosso Sol esgotar o seu combustível de hidrogénio, começa a expandir-se e forma uma estrela gigante vermelha que consome hélio. Isto significa que a Terra acabará por morrer no fogo, quando o nosso Sol se transformar numa gigante vermelha, daqui a 5 mil milhões de anos.

Grande Teoria Unificada (GUT) - Uma teoria que unifica as interacções fraca, forte e electromagnética (sem a gravidade). A simetria das GUT, como a SU(5) mistura os quarks e os leptões. O protão não é estável nestas teorias e pode decair em positrões. As GUT são intrinsecamente instáveis (a menos que se acrescente a supersimetria). As GUT também excluem a gravidade. (Acrescentar a gravidade às GUT fá-las-ia divergir com infinidades.)

gravidade quântica - Uma forma de gravidade que obedece ao princípio quântico. Quando a gravidade é perspectivada em termos quânticos, encontramos um pacote de gravidade que se chama gravitão. Geralmente, quando a gravidade é perspectivada numa base quântica, verificamos que as suas flutuações quânticas são infinitas, o que toma a teoria inútil. No presente, a teoria de cordas é a única candidata que pode eliminar estas infinidades.

gravitão -Uma partícula subatómica hipotética que são os quanta da gravidade. O gravitão tem spin 2. É demasiado pequeno para ser visto no laboratório.

hiperespaço -Dimensões superiores a quatro. A teoria de cordas (teoria M) prediz que deve haver dez (onze) dimensões. Actualmente, não há dados experimentais que indiquem a existência destas dimensões superiores, que podem ser demasiado pequenas para que seja possível medi-las.

horizonte -O ponto mais distante que podemos ver. Em redor de um buraco negro há uma esfera mágica, no raio de Schwarzschild, que é o ponto sem retomo.

horizonte de eventos -O ponto sem retomo que rodeia um buraco negro, muitas vezes chamado o horizonte. Acreditou-se outrora que era uma singularidade de gravidade infinita, mas mostrou-se que isso era um artefacto de coordenadas usadas para o descrever.

inflação -A teoria segundo a qual o Universo sofreu uma incrível expansão superliminar no instante do seu nascimento. A inflação pode resolver os problemas do achatamento, do monopólo e do horizonte.

inflação caótica -Uma versão de inflação, proposta por Andrei Linde, onde a inflação ocorre aleatoriamente. Isto significa que os universos podem originar outros universos de uma forma contínua, caótica, criando um multiverso. A inflação caótica é uma maneira de resolver o problema do fim da inflação, uma vez que agora

há a geração aleatória de universos inflacionados de todos os tipos.

interferência -A mistura de duas ondas com fase ou frequência ligeiramente diferentes, que cria um padrão de interferência característico. A análise deste padrão permite detectar pequenas diferenças entre duas ondas que diferem muito pouco uma da outra.

interferometria -O processo de usar a interferência das ondas de luz para detectar diferenças muito pequenas entre as ondas provenientes de duas fontes. A interferometria pode ser usada para medir a presença das ondas de gravidade e outros objectos que são normalmente dificeis de detectar.

isótopo -Um elemento químico que tem o mesmo número de protões no seu núcleo, mas com um número diferente de neutrões. Os isótopos têm as mesmas propriedades químicas, mas têm pesos diferentes.

lambda -A constante cosmológica que mede a quantidade de energia negra do Universo.

Actualmente, os dados sustentam que n + A = l , o que se ajusta à previsão da inflação de um Universo plano. Sabe-se agora que A, que outrora se pensou fosse zero, determina o destino último do Universo.

laser -Um dispositivo para criar radiação de luz coerente. Laser deriva de «Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation (Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação). Em princípio, o único limite à energia contida num feixe de laser é a estabilidade do material de emissão do raio laser e a fonte de potência.

lei de Hubble -Quanto mais distante da Terra uma galáxia se encontra, mais rapidamente ela se move. Descoberta por Edwin Hubble em 1929, esta observação concorda com a teoria do Universo em expansão de Einstein.

leis da conservação -As leis que afirmam que certas quantidades não mudam com o tempo. Por exemplo, a conservação da matéria e da energia

determina que a quantidade total de matéria e de energia no Universo é uma constante.

lentes e anéis de Eisntein -As distorções ópticas da luz das estrelas quando ela passa através do espaço intergaláctico, por causa da gravidade. Os distantes aglomerados de galáxias muitas vezes têm uma aparência semelhante a um anel. As lentes de Einstein podem ser usadas para calcular muitas medidas chave, incluindo a presença da matéria negra e até mesmo o valor de A e da constante de Hubble.

leptão -Uma partícula de interacção fraca, como o electrão e o neutrino, e as suas parentes mais altas, como o muão. Os físicos acreditam que toda a matéria é constituída por hadrões e leptões (partículas com interacção forte e fraca, respectivamente.)

LHC - O Large Hadron Collider, um acelerador de partículas, concebido para criar feixes energéticos de protões, situado em Genebra, na Suíça. Quando estiver concluído, fará colidir partículas com energias nunca vistas desde o big

bang. Espera-se que a partícula de Higgs e outras partículas sejam encontradas no LHC, quando este começar a funcionar em 2007.

LIGO -O Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory, situado no estado de Washington e de Louisiana, é o maior detector de ondas gravitacionais do mundo. Começou a funcionar em 2003.

limite de Chandrasekhar -1,4 massas solares. Para além desta massa, a gravidade de uma estrela anã branca é tão grande que ultrapassará a pressão de degenerescência dos electrões e esmagará a estrela, originando uma supernova. Assim, todas as estrelas anãs brancas que observamos no Universo têm uma massa inferior a 1,4 massas solares.

LISA -O Laser Interferometry Space Antenna é um conjunto de três satélites espaciais que vai usar feixes de laser para medir ondas de gravidade. Pode ser suficientemente sensível para confirmar ou refutar a teoria inflacionária e,

possivelmente, a teoria de cordas, quando for lançado dentro de algumas décadas.

MACHO- Objecto de Halo Compacto Maciço (Massive Compact Halo Object). São estrelas escuras, planetas, asteróides e outros objectos semelhantes difíceis de detectar com telescópios ópticos e que podem constituir uma porção de matéria negra. Os últimos dados indicam que a maior parte da matéria negra não é bariónica e não é constituída por MACHOs.

matéria exótica -Uma nova forma de matéria com energia negativa. É diferente da antimatéria, que tem energia positiva. A matéria negativa teria antigravidade, pelo qu na Terrae deveria subir em vez de descer. Se existe, podia ser usada para construir uma máquina do tempo. No entanto, ainda não foi encontrada nenhuma.

matéria negra -Matéria invisível que tem peso, mas não interage com a luz. A matéria negra encontra-se geralmente num enorme halo que rodeia as galáxias. Ultrapassa o peso da matéria comum por um factor de 1O. A matéria

negra pode ser indirectamente medida, porque curva a luz das estrelas devido à sua gravidade, de um modo algo semelhante ao modo como o vidro inclina a luz. A matéria negra, de acordo com os dados mais recentes, perfaz 23% do conteúdo total de matéria/energia do Universo. De acordo com a teoria de cordas, a matéria negra pode ser constituída por partículas subatómicas, como o neutralino, que representa vibrações mais altas da supercorda.

mecânica quântica -A teoria quântica completa proposta em 1925, que substituiu a «velha teoria quântica» de Planck e de Einstein. Ao contrário da velha teoria quântica, que era uma mistura de conceitos clássicos e ideias quânticas mais recentes, a mecânica quântica baseia-se em equações de onda e no princípio da incerteza e representa uma ruptura significativa relativamente à Física clássica. Nenhum desvio da mecânica quântica foi encontrado nos laboratórios. A sua versão actual mais avançada chama-se teoria quântica de campos, que combina a

relatividade restrita com a mecânica quântica. Uma teoria mecânica da gravidade completamente quântica, contudo, é extremamente dificil.

membrana -Uma superficie estendida, em quaisquer dimensões. Uma 0-brana é uma partícula pontual. Uma 1-brana é uma corda. Uma 2-brana é uma membrana. As membranas são uma característica essencial da teoria M. As cordas podem ser vistas como membranas com uma dimensão compactada.

modelo padrão -Para a teoria quântica mais bem sucedida das interacções, electromagnética e forte. Baseia-se na simetria SU(3) de quarks, na simetria SU(2) de electrões e de neutrinos e na simetria U(l) da luz. Contém um vasto conjunto de partículas: quarks, gluões, leptões, bosões W e Z e partícula Higgs. Não pode ser a teoria de tudo porque (a) não inclui a gravidade; (b) tem dezanove parâmetros livres que têm de ser fixados à mão; (c) tem três gerações idênticas de quarks e de leptões, o que é redundante. O modelo padrão pode ser absorvido numa GUT e, finalmente, na

teoria de cordas, mas no presente não há prova experimental de nenhuma delas.

monopólo -Um único pólo magnético. Os ímanes têm um par inseparável de pólos norte e sul, pelo que os monopólos nunca foram conclusivamente vistos no laboratório. Os monopólos devem ter sido criados em quantidades abundantes no big bang, mas hoje não podemos encontrar nenhum, provavelmente porque a inflação os diluiu.

muão -Uma partícula subatómica idêntica ao electrão, mas com uma massa muito maior. Pertence à segunda geração, redundante, de partículas encontradas no modelo padrão.

multiverso -Universos múltiplos. Outrora considerado altamente especulativo, o conceito de multiverso é hoje considerado essencial para a compreensão do Universo primitivo. Há várias formas do multiverso, todas elas intimamente relacionadas. Qualquer teoria quântica tem um multiverso de estados quânticos. Aplicada ao Universo, significa que deve haver um número

infinito de universos paralelos que entraram em decoerência uns com os outros. A teoria da inflação introduz o multiverso para explicar como a inflação começou e porque, depois, parou. A teoria de cordas introduz o multiverso devido ao grande número de soluções que possibilita. Na teoria M, estes universos podem, de facto, colidir uns com os outros. Em bases filosóficas, o multiverso é introduzido para explicar o princípio antrópico.

neutrão -Uma partícula subatómica neutra que, juntamente com o protão, constitui o núcleo dos átomos.

neutrino -Uma partícula subatómica quase sem massa. Os neutrinos têm reacções muito fracas com outras partículas e podem avançar vários anos-luz sem sofrerem qualquer interacção. São emitidos em grandes quantidades pelas supernovas. O número de neutrinos é tão grande que aquecem o gás que rodeia a estrela em colapso, originando, assim, a explosão de supernova.

núcleo -A pequena parte central de um átomo constituída por protões e neutrões que tem cerca de 10-13 cm de diâmetro. O número de protões de um núcleo determina o número de electrões à volta do núcleo que, por sua vez, determina as propriedades químicas do átomo.

nucleossíntese -A criação de núcleos mais pesados que o núcleo de hidrogénio, que começou com o big bang. Deste modo, pode obter-se a abundância relativa de todos os elementos que se encontram na natureza. Esta é uma das três «provas» do big bang. Os elementos mais leves são cozinhados no centro das estrelas. Os elementos mais pesados do que o ferro são cozinhados na explosão de uma supernova.

Ómega -O parâmetro que mede a densidade média da matéria no Universo. Se A = O, e nfor inferior a 1, então o Universo expandir-se-á para sempre até atingir um big freeze. Se n for maior do que 1, então haverá matéria suficiente para inverter a expansão num big crunch. Se n for igual a 1, então o Universo é plano.

onda de gravidade -Uma onda de gravidade, predita pela teoria da relatividade geral de Einstein. Esta onda tem sido indirectamente medida através da observação da idade dos pulsares que giram um em torno do outro.

paradoxo de Olbers -O paradoxo que questiona porque é que o céu nocturno é escuro. Se o Universo é infinito e uniforme, então temos de receber luz de um número infinito de estrelas e, assim, o céu devia ser brilhante, o que a observação contraria. Este paradoxo é explicado pelo big bang e pela duração finita da vida das

estrelas. O big bang impede que a luz proveniente do espaço exterior chegue aos nossos olhos.

paradoxo do avô -Nas histórias de viagens no tempo, este é o paradoxo que decorre da alteração do passado, tornando impossível o presente. Se retrocedermos no tempo e matarmos os nossos pais antes de termos nascido, então a nossa existência é impossível. Este paradoxo pode ser resolvido através da imposição de

autoconsistência, de modo a que seja possível viajar para o passado sem o poder alterar arbitrariamente, ou através da admissão de universos paralelos.

paradoxo do gato de Schrödinger -O paradoxo segundo o qual um gato pode estar simultaneamente vivo e morto. De acordo com a teoria quântica, um gato dentro de uma caixa pode estar vivo e morto ao mesmo tempo, pelo menos até fazermos uma observação, o que parece absurdo. Temos de somar a função de onda de um gato em todos os estados possíveis (vivo, morto, a correr, a dormir, a comer, etc.) até ser feita uma medição. Há duas maneiras principais de resolver o paradoxo: supor que a consciência determina a existência ou assumir um número infinito de mundos paralelos.

partículas virtuais -Partículas que entram e saem rapidamente do vácuo. Violam as leis da conservação conhecidas, mas apenas durante um curto período de tempo, através do princípio da incerteza. As leis da conservação operam então

como uma média no vácuo. As partículas virtuais, às vezes, podem transformarse em partículas, se for acrescentada ao vácuo energia suficiente. Numa escala microscópica, estas partículas virtuais podem incluir buracos de verme e universos bebé.

planeta extra-solar -Um planeta que orbita uma estrela que não é a nossa. Cerca de uma centena destes planetas foram agora detectados, a uma taxa de dois por mês. A maior parte deles, infelizmente, são semelhantes a Júpiter e não são favoráveis à criação da vida. Dentro de algumas décadas, serão enviados satélites para o espaço exterior que identificarão planetas extra-solares semelhantes à Terra.

ponte de Einstein-Rosen -Um buraco de verme formado pela junção da solução de dois buracos negros. Originariamente, a solução significava representar uma partícula subatómica, como o electrão, na teoria do campo unificado de Einstein. Desde então, tem sido usado para

descrever o espaço-tempo perto do centro de um buraco negro.

potências de dez -Notação abreviada usada pelos cientistas para denotar números muito grandes ou muito pequenos. Assim, l O 11 significa 1 seguido de 11 zeros. Por conseguinte, um milhar é l 03. Por outro lado, l o-n significa o inverso de l on - isto é 0,000... 001, onde há n zeros. Um milionésimo, por conseguinte, é l 0-3 ou 0,001.

pressão de degenerescência do electrão - Numa estrela moribunda, é a força repulsiva que impede os electrões ou os neutrões de colapsarem completamente. Para uma estrela anã branca, isto significa que a sua gravidade pode ultrapassar esta força, se a sua massa for superior a 1,4 massas solares. Esta força é devida ao princípio da exclusão de Pauli que diz que dois electrões não podem ocupar o mesmo estado quântico. Se a gravidade for suficientemente grande para ultrapassar esta força numa estrela anã branca, colapsará explodindo.

princípio antrópico -O princípio segundo o qual as constantes da natureza estão sintonizadas para permitir a vida e a inteligência. O princípio antrópico forte conclui que foi necessária uma inteligência de algum tipo para sintonizar as constantes físicas de modo a permitir a inteligência. O princípio antrópico fraco apenas determina que as constantes da natureza têm de ser sintonizadas de modo a permitir a inteligência (de outro modo, não estaríamos aqui), mas deixa em aberto a questão do que ou quem é responsável pela sintonização. Experimentalmente, vemos que, na verdade, as constantes da natureza parecem estar perfeitamente sintonizadas para permitir a vida e a consciência. Alguns acreditam que isto pode ser a prova da existência de um criador cósmico. Outros acreditam que é uma prova do multiverso.

princípio da incerteza -O princípio que diz que não é possível conhecer simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula com precisão infinita. A incerteza na posição de uma partícula multiplicada pela incerteza do seu

momento deve ser igual ou maior do que a constante de Planck a dividir por 2n. O princípio da incerteza é a componente mais importante da teoria quântica, introduz-se probabilidades no Universo. Devido à nanotecnologia, os físicos podem manipular átomos individuais e, assim, testar o princípio da incerteza em laboratório.

problema da hierarquia -A mistura involuntária que se verifica entre a física da baixa energia e a física no comprimento de Planck nas GUT, tomando-as inúteis. O problema da hierarquia pode ser resolvido acrescentando a supersimetria.

problema do achatamento -Sintonização necessária para um Universo plano. Para n ser aproximadamente igual a 1, tem de ser sintonizado com uma precisão incrível no instante do big bang. As experiências actuais mostram que o Universo é plano, pelo que ou ele foi sintonizado no big bang ou talvez tenha sofrido inflação, o que o achatou.

problema do horizonte -O mistério da razão pela qual o Universo é tão uniforme, independentemente do ponto para onde olharmos. Até mesmo as regiões do céu noctumo em lados opostos do horizonte são uniformes, o que é estranho, porque não podem ter estado em contacto térmico no começo do tempo (visto que a luz tem uma velocidade finita). Isto pode explicar-se se o big bang começasse por uma pequena porção uniforme e depois sofresse inflação até ao Universo actual.

protão -Uma partícula subatómica com carga positiva que, juntamente com os neutrões, constitui o núcleo dos átomos. São estáveis, mas a GUT prediz que podem decair durante um longo período de tempo.

pulsar -Uma estrela de neutrões em rotação. Como é irregular, parece um farol rotativo cuja luz é semelhante à de uma estrela que cintila.

quark - Uma partícula subatómica que constitui o protão e o neutrão. Três quarks constituem um protão ou neutrão e um par quark-

antiquark constitui um mesão. Os quarks, por sua vez, fazem parte do modelo padrão.

quasar -Objecto quasi-estelar. São enormes galáxias que se formaram pouco depois do big bang. Têm enormes buracos negros no seu centro. O facto de não vermos quasares hoje foi um dos argumentos utilizados para refutar a teoria do estado estacionário, que diz que o Universo actual é semelhante ao de há mil milhões de anos.

quebra de simetria -A quebra de simetria encontrada na teoria quântica. Pensa-se que o Universo se encontrava em simetria perfeita antes do big bang. Desde então, arrefeceu e envelheceu e, por isso, as quatro forças fundamentais e as simetrias a elas associadas foram quebradas. Hoje, o Universo está horrivelmente quebrado e todas as forças se encontram separadas umas das outras.

radiação coerente -A radiação que está perfeitamente em fase. A radiação coerente, como a que se encontra num feixe de laser, pode interferir consigo mesma produzindo padrões de

interferência que podem detectar pequenos desvios no movimento ou na posição. É útil nos interferómetros e nos detectores de ondas de gravidade.

radiação de fundo cósmico de micro-ondas - A radiação residual deixada pelo big bang, que ainda hoje existe no Universo, foi prevista pela primeira vez em 1948 por George Gamow e pelo seu grupo. A sua temperatura é de 2,7 graus acima do zero absoluto. A sua descoberta por Penzias e Wilson forneceu a «prova» mais convincente do big bang. Hoje, os cientistas medem os pequenos desvios desta radiação de fundo para provar a inflação ou outras teorias.

radiação de fundo de micro-ondas -O resto da radiação original do big bang, com uma temperatura de cerca de 2,7 K. Os pequenos desvios nesta radiação de fundo fornecem aos cientistas dados valiosos que permitem verificar ou estabelecer muitas teorias cosmológicas.

radiação de Hawking -A radiação que se evapora lentamente de um buraco negro. Esta

radiação encontra-se na forma de radiação do buraco negro, com uma temperatura específica, e é devida ao facto de as partículas quânticas poderem penetrar no campo gravitacional que rodeia um buraco negro.

radiação do corpo negro -A radiação emitida por um objecto quente em equilíbrio térmico com o seu meio. Se tomarmos um objecto oco (um corpo negro), se o aquecermos e esperarmos que ele atinja o equilíbrio térmico e lhe abrirmos um pequeno orificio, a radiação emitida através do orificio será a radiação do corpo negro. O Sol, um atiçador quente, e o magma fundido emitem uma radiação aproximada à do corpo negro. A radiação tem uma distribuição específica de frequências que se pode medir facilmente com um espectrómetro. A radiação de fundo de micro-ondas que enche o Universo obedece a esta fórmula da radiação do corpo negro, fornecendo uma prova concreta do big bang.

radiação infravermelha -Radiação de calor ou radiação electromagnética cuja frequência é um pouco inferior à da luz visível.

raio de Schwardzschild -O raio do horizonte de eventos ou o ponto sem retorno de um buraco negro. Para o Sol, o raio de Schwardzschild é de aproximadamente 3 quilómetros. Quando uma estrela é comprimida até atingir o seu horizonte de eventos, colapsa num buraco negro.

relatividade -A teoria restrita e geral de Einstein. A primeira teoria está relacionada com a luz e com o espaço plano quadridimensional. Baseia-se no princípio de que a velocidade da luz é constante em todos os sistemas inerciais. A segunda teoria trata da gravidade e do espaço curvo. Baseia-se no princípio de que os sistemas de gravitação e de aceleração não se distinguem. A combinação da relatividade com a teoria quântica representa a soma total de todo o conhecimento físico.

relatividade geral -teoria da gravidade de Einstein. Em vez de ser uma força, a gravidade

reduzia-se, na teoria de Einstein, a um subproduto da geometria, pelo que a curvatura do espaço-tempo dá a ilusão de que existe uma força de atracção chamada gravidade. Tem sido verificada experimentalmente com uma precisão superior a 99,7% e prediz a existência de buracos negros e do Universo em expansão. A teoria falha, contudo, no centro de um buraco negro ou no instante da criação prevendo o absurdo. Para explicar estes fenómenos, é preciso recorrer a uma teoria quântica.

relatividade restrita -A teoria de Einstein de 1905, baseada na constância da velocidade da luz. As consequências são as seguintes: o tempo anda mais devagar, a massa aumenta e as distâncias encurtam com a velocidade do movimento. Por outro lado, a matéria e a energia estão relacionadas através da fórmula E = mc2. Uma consequência da relatividade restrita é a bomba atómica.

salto quântico -Uma alteração súbita do estado de um objecto que classicamente não é

permitida. Os electrões no interior de um átomo dão saltos quânticos entre as órbitas, libertando ou absorvendo luz durante o processo. O Universo pode ter dado um salto quântico a partir do nada para o nosso Universo actual.

simetria -Um redisposição de um objecto que o deixa invariante. Os flocos de neve são invariantes quando submetidos a uma rotação de um múltiplo de 60 graus. Os círculos são invariantes sob rotação de qualquer ângulo. O modelo de quarks mantém-se invariante quando submetido a uma troca de três quarks, originando uma simetria SU(3). As cordas são invariantes sob o efeito da supersimetria e das deformações regulares da sua superficie. A simetria é crucial em Física, porque permite eliminar muitas das divergências encontradas na teoria quântica.

singularidade -Um estado de gravidade infinita. Em relatividade geral, previu que as singularidades existem no centro dos buracos negros e no instante da criação, em condições muito gerais. Pensa-se que representam uma ruptura da

relatividade geral, que obriga à introdução de uma teoria quântica da gravidade.

sintonização perfeita -Ajustamento de um certo parâmetro com uma precisão incrível. Os físicos não gostam da sintonização perfeita que consideram uma invenção artificial e tentam impor princípios físicos que eliminam a necessidade de sintonização. Por exemplo, a sintonização necessária para explicar um Universo plano pode ser explicada pela inflação e a sintonização necessária para resolver o problema da hierarquia na teoria GUT pode ser resolvida através da supersimetria.

supernova -Uma estrela que explode. São tão energéticas que, por vezes, podem exceder em brilho uma galáxia. Há vários tipos de supemovas, mas a mais interessante é a supemova do tipo Ia. As supemovas deste tipo ocorrem quando uma estrela anã branca velha extrai matéria da sua companheira e ultrapassa o limite de Chandrasekhar, o que a faz colapsar subitamente e explodir.

supernova do tipo la -Uma supemova muitas vezes usada como uma vela padrão para medir distâncias. Esta supemova ocorre num sistema de estrelas binárias quando uma estrela anã suga lentamente a matéria de uma estrela companheira, ultrapassando, assim, o limite de Chandrasehkar de 1,4 massas solares, o que provoca a sua explosão.

supersimetria -A simetria que permuta fermiões e bosões. Esta simetria resolve o problema da hierarquia e também permite eliminar quaisquer divergências restantes na teoria de supercordas. Significa que todas as partículas no modelo padrão têm de ter parceiras, chamadas spartículas, que, até agora, ainda não foram observadas no laboratório. A supersimetria, em princípio, pode unificar todas as partículas do Universo num único objecto.

Telescópio Chandra de Raios X -O telescópio de raios X no espaço exterior que pode perscrutar nos céus emissões de raios X, como as que são

emitidas por um buraco negro ou uma estrela de neutrões.

teoria de perturbações -O processo através do qual os físicos resolvem as teorias quânticas somando um número infinito de pequenas correcções. Quase todo o trabalho na teoria de cordas é feito através da teoria de perturbações das cordas, mas alguns dos problemas mais interessantes estão para além do alcance desta teoria, tal como a quebra de supersimetria. Assim, precisamos de métodos não perturbativos para resolver a teoria de cordas que, no presente, não existe de uma forma sistemática.

teoria de cordas -A teoria que se baseia em pequenas cordas que vibram, de forma que cada modo de vibração corresponde a uma partícula subatómica. É a única teoria que consegue combinar a gravidade com a teoria quântica, transformando--a na principal candidata a uma teoria de tudo. Só é matematicamente autoconsistente em dez dimensões. A sua última versão é a teoria M, que é definida em onze dimensões.

teoria de cordas heteróticas -A teoria de cordas fisicamente mais realista. O seu grupo de simetria é E(8) x E(8), que é suficientemente grande para incorporar a simetria do modelo padrão. Através da teoria M, pode mostrar-se que a corda heterótica é equivalente às outras quatro teorias de cordas.

teoria de Kaluza-Klein -A teoria de Einstein formulada em cinco dimensões. Quando reduzida a quatro dimensões, encontramos a teoria comum de Einstein combinada com a teoria da luz de Maxwell. Assim, esta foi a primeira unificação não trivial da luz com a gravitação. Hoje, a teoria de Kaluza-Klein está incorporada na teoria de cordas.

teoria de muitos mundos -A teoria quântica segundo a qual todos os universos quânticos possíveis podem existir simultaneamente. Resolve o problema do gato de Schrödinger dizendo que o Universo se desintegra em cada juntura quântica e daí o gato estar vivo num Universo e morto noutro. Recentemente, um número crescente de

físicos tem manifestado o seu apoio à teoria de muitos mundos.

teoria do campo unificado -A teoria procurada por Einstein que poderia unificar todas as forças da natureza numa única teoria coerente. Hoje, a principal candidata é a teoria de cordas ou teoria M. Einstein acreditava inicialmente que a sua teoria do campo unificado podia resolver a relatividade e a teoria quântica numa teoria mais elevada que não exigiria probabilidades. A teoria de cordas, contudo, é uma teoria quântica e, por isso, introduz probabilidades.

teoria do estado estacionário -A teoria que determina que o Universo não tem começo, mas está constantemente a gerar matéria nova quando se expande, con-

servando a mesma densidade. A teoria tem perdido crédito por várias razões, sendo uma delas a descoberta do fundo de radiação de micro-ondas. Por outro lado, descobriu-se que os quasares e as galáxias têm fases evolutivas diferentes.

teoria M -A versão mais avançada da teoria de cordas. A teoria M existe no espaço de onze dimensões onde podem existir 2-branas e 5-branas. Há cinco maneiras de reduzir a teoria M a dez dimensões, que nos dão as cinco teorias conhecidas das supercordas, que se sabe agora que são a mesma teoria. As equações completas que regem a teoria M são totalmente desconhecidas.

teoria quântica -A teoria da física subatómica. É uma das teorias mais bem sucedidas de todos os tempos. A teoria quântica e a teoria da relatividade constituem a soma de todo o conhecimento físico a um nível fundamental. Grosso modo, a teoria quântica baseia-se em três princípios: (1) a energia encontra-se em pacotes discretos chamados quanta; (2) a matéria baseia-se em partículas pontuais, mas a probabilidade de as encontrar é dada por uma onda, que obedece à equação de Schrödinger; (3) é necessária uma medição para colapsar a onda e detenninar o estado final de um objecto. Os postulados da teoria

quântica são o inverso dos postulados da relatividade geral, que é determinísta e baseada em superficies uníformes. Combinar a relatividade e a teoria quântica é um dos maiores problemas que a Física actual enfrenta.

termodinâmica -A parte da Física que estuda o calor. Há três leis da termodinâmica: (1) a quantidade total de matéria e de energia é conservada; (2) a entropia total aumenta sempre; e (3) não é possível atingir o zero absoluto. A termodinâmica é essencial para compreender como o Universo pode morrer.

Universo de Friedmann -A solução cosmológica mais geral das equações de Einstein baseadas num Universo uniforme, isotrópico e homogéneo. Esta é uma solução dinâmica, onde o Universo se pode expandir num bigfreeze, colapsa num

big crunch ou sofre inflação para sempre, o que depende dos valores de ne de A.

Universo de de Sitter -Uma solução cosmológica das equações de Einstein na qual o Universo

se expande exponencialmente. O termo dominante é uma constante cosmológica que cria esta expansão exponencial. Acredita-se que o Universo estava numa fase de Sitter durante a inflação e que lentamente voltou a uma fase de Sitter nos últimos 7 mil milhões de anos, criando um Universo em aceleração. A origem desta expansão de de Sitter é desconhecida.

vácuo -Espaço vazio. Mas o espaço vazio, de acordo com a teoria quântica, está cheio de partículas subatómicas virtuais, que duram apenas uma fracção de um segundo. O vácuo também é usado para descrever a energia mais baixa de um sistema. O Universo, segundo sejulga, passou de um estado de falso vácuo para o verdadeiro vácuo de hoje.

Variedade de Calabi-Yau - Um espaço de seis dimensões que se encontra quando consideramos uma teoria de cordas de dez dimensões e enrolamos ou compactificamos seis dimensões numa pequena bola deixando um espaço supersimétrico de quatro dimensões. Os espaços de Calabi-Yau

são multiplamente conexos - isto é, contêm buracos que podem determinar o número de gerações de quarks que existem no nosso espaço quadridimensional. São importantes na teoria de cordas, porque muitas das características destas variedades, tais como o número de buracos que têm, podem determinar o número de quarks que existem no Universo a quatro dimensões.

WIMP -Partícula maciça de interacção fraca. Pensa-se que as WIMP são as partículas preditas pela teoria de cordas.

zona de «chave de ouro» -A estreita banda de parâmetros em que a vida inteligente é possível. Nesta banda, a Terra e o Universo estão preparados para criar as substâncias químicas responsáveis pela vida inteligente. Têm sido descobertas muitas zonas de «chave-de-ouro» para as constantes físicas do Universo bem como para as propriedades da Terra.

BIBLIOGRAFIA

Adams, Douglas, The Hitchhiker s Guide to the Galaxy (Uma Boleia para a Galáxia), New York, Pocket Books, 1979.

Adams, Fred, and Greg Laughlin, The Five Ages of the Universe: Inside the hysics of Eternity (As Cinco Idades do Universo: A Física da Eternidade), New York, The Free Press, 1999.

Anderson, Poul, Tau Zero, London, Victor Gollancz, 1967.

Asimov, Isaac, The Gods Themselves (O Planeta dos Deuses), New York, Bantam Books, 1972.

Barrow, John D., The Artfal Universe, New York, Oxford University Press, 1995. (Referido como Barrow2)

, The Universe That Discovered Itself, New York, Oxford University Press, 2000. (Referido como Barrow3)

Barrow, John D., and F. Tipler, The Anthropic Cosmological Principie, New York,

Oxford University Press, 1986. (Referido como Barrowl)

Bartusiak, Mareia, Einstein s Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of

Space-time, New York, Berkley Books, 2000

Bear, Greg, Eon, New York, Tom Doherty Associates Books, 1985. Bell, E. T., Men of Mathematics, New York, Simon and Schuster, 1937.

Bernstein, Jeremy, Quantum Projiles, Princeton, N. J., Princeton University Press, 1991.

Brian, Denis, Einstein: A Life, New York, John Wiley, 1996.

Brownlee, Donald, e Peter D. Ward, Rare Earth, N ew York, Springer-Verlag, 2000 Calaprice, Alice, ed. The Expanded Quotable Einstein, Princeton, Princeton Uni-

versity Press, 2000.

Chown, Marcus, The Universe Next Doar: The Making of Tomorrow s Science,New

York, Oxford University Press, 2002.

Cole, K. C., The Universe in a Teacup, New York, Harcourt Brace, 1998.

Crease, Robert, e Charles Mann, The Second Creation: Makers of the Revo-lution in Twentieth-Century Physics, New York, Macmil-lan, 1986.

Croswell, Ken, The Universe at Midnight: Observations Illuminating the Cosmos,

New York, The Free Press, 2001.

Davies, Paul, How to Build a Time Machine (Como Construir Uma Máquina do Tempo), New York, Penguin Books, 2001. (referido como Daviesl)

Davies, P. C. W., e J. Brown, Superstrings: A Theory of Everything, Cambridge, U. K., Cam-bridge University Press, 1988. (Referido como Davies2)

Dick, Philip K., The Man in the High Castle (O Homem do Castelo Alto), New York, Vintage Books, 1990.

Dyson, Freeman, Jmagined Worlds, Cam-bridge, Mass., Harvard University Press, 1998.

Folsing, Albrecht, Albert Einstein, New York, Penguin Books, 1997.

Gamow, George, My World Line: An Informal Biography, New York, Viking Press, 1970. (Referido como Gamow 1)

, One, Two, Three... Infinity, New York, Bantam Books, 1961. (Referido como Gamow2)

Goldsmith, Donald, The Runaway Universe, Cambridge, Mass., Perseus Books, 2000.

Goldsmith, Donald, e Neil deGrasse Tyson, Origins, New York, W. W. Norton,

2004.

Gott, J. Richard, Time Travei in Einstein s Universe, Boston: Houghton Mifflin

Co., 2001.

Greene, Brian, The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory (O Universo Elegante: Supercordas, Dimensõe Ocultas e a Busca da Teoria Final), New York, W. W. Norton, 1999. (Refe

rido como Greene 1)

, The Fabric of the Cosmos, New York, W. W. Norton, 2004. Gribbin, John, ln Search of the Big Bang: Quantum Physics and Cosmology (Á

Procura do Big Bang: Física Quântica e Cosmologia), New York, Bantam Books, 1986.

Guth, Alan, The Inflationary Universe, Reading, Penn., Addison-Wesley, 1997. Hawking, Stephen W., Kip S. Thome, Igor Novikov, Timothy Ferris, e Alan Light

man, The Future of Space-time, N ew York, W. W. Norton, 2002.

Kaku, Michio, Beyond Einstein: The Cosmic Questfor the Theory of the Universe (Para Além de Einstein), New York, Anchor Books, 1995. (Referido como Kakul)

, Hyperspace: A Scientific Odyssey Through Time Warps, and the Tenth Dimension, New York, Anchor Books, 1994 (Referido como Kaku2)

, Quantum Field Theory, New York, Oxford University Press, 1993 (Referido como Kaku3)

Kirshner, Robert P., Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Universe, Princeton, N. J., Princeton University Press, 2002.

Kowalski, Gary, Science and the Search for God, New York, Lantem Books, 2003.

Lemonick, Michael D., Echo of the Big Bang, Princeton, Princeton University Press, 2003.

Lightman, Alan, e Roberta Brawer, Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1990.

Margenau, H., e Varghese, R. A., eds. Cosmos, Bios, Theos, La Salle, III, Open Court, 1992.

Nahin, Paul J., Time Machines: Time Travei in Physics, Metaphysics, and Science Fiction, New York, Springer-Verlag, 1999.

Niven, Larry, N-Space, New York, Tom Doherty Associates Books, 1990.

Pais, A., Einstein Lived Here (Einstein Viveu Aqui), New York, Oxford University Press, 1994. (Referido como Paisl)

----- , Subtle Is the Lord (Subtil É o Senhor: Vida e Pensamento de A I- bert Einstein), New York, Oxford University Press, 1982. (Referido como

Pais2)

Parker, Barry, Einstein s Brainchild, Amh-erst, N. Y., Prometheus Books, 2000.

Petters, A. O., H. Levine, J. Wambsganss, Singularity Theory and Gravitational Lensing, Boston, Birkhauser, 2001.

Polkinghome, J. C., The Quantum World (O Mundo dos Quanta), Princeton, N. J., Princeton University Press, 1984.

Rees, Martin, Before the Beginning: Our Uni-verse and Others, Reading, Mass.,Perseus Books, 1997. (Referido como Rees 1)

, Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe,Rea

ding, Mass., Perseus Books, 2000. (Referido como Rees2)

, Our Final Hour, New York, Perseus Books, 2003.(Referido como Rees3)

Sagan, Carl, Carl Sagan s Cosmic Connection (As Ligações Cósmicas: Uma Pers

pectiva Extraterrestre), New York, Cambridge University Press, 2000.

Schilpp, Paul Arthur, Albert Einstein: Philosopher-Scientist, New York, Tudor Publishing, 1951.

Seife, Charles, Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe, New York, Viking Press, 2003.

Silk, Joseph, The Big Bang, New York, W. H. Freeman, 2001.

Smoot, George, e Davidson, Keay, Wrinkles in Time, New York, Avon Books, 1993. Thome, Kip S., Black Holes and Time Warps: Einstein s Outrageous Legacy, New

York, W. W. Norton, 1994.

Tyson, Neil deGrasse, The Sky Is Not the Limit, New York, Doubleday, 2000.

Weinberg, Steve, Dreams of a Final Theory: The Searchfor the Fundamental Laws of Nature (Sonhos de Uma Teoria Final), New York, Pantheon Books, 1992 (Referido como Weinbergl)

, Facing Up: Science and Its Cultural Adversaries, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 2001. (Referido como Weinberg2)

, The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe (Os Três Primeiros Minutos do Universo), New York, Bantam New Age 1977. (Referido como Weinberg3)

Wells, H. G., The Invisible Man (O Homem Invisível), New York, Dover Publications, 1992. (Referido como Wellsl)

, The Wonderful Visit, North Yorkshire, U. K., House of Status, 2002. (Referido como Wells2)

Wilczek, Frank, Longing for The Harmonies: Themes and Variations from Modem Physics, New York, W. W. Norton, 1988.

Zee, A., Einstein s Universe, New York, Oxford University Press, 1989.

@Created by PDF to ePub